

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-004955

(43)Date of publication of application : 12.01.2001

(51)Int.Cl.

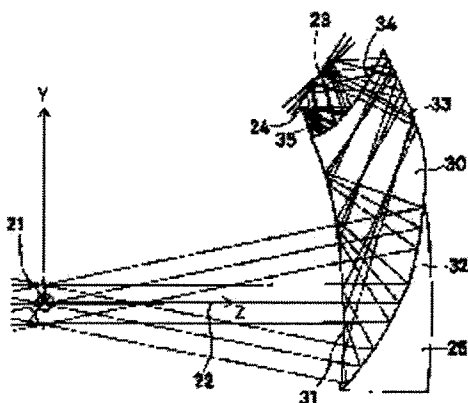
G02B 27/02

G02B 26/10

(21)Application number : 11-174970 (71)Applicant : OLYMPUS  
OPTICAL CO  
LTD

(22)Date of filing : 22.06.1999 (72)Inventor : HISAYOSHI  
KEIICHI

(54) VIDEO DISPLAY DEVICE



(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an optical system for a compact scanning type video display device constituted of a small number of optical elements.

SOLUTION: This device is composed of a video display element 24, a scanning means 23 and a projection optical system. In such a case, the projection optical system is provided with at least one prism member 30. The member 30 is provided with at least three surfaces, that is, a transmission surface 31 making luminous flux incident on the member 30, reflection surfaces 32, 31 and 33 reflecting the luminous flux inside the member 30, and a transmission surface 34 emitting the luminous flux from the prism; the total number of reflecting times in the member 30 is three or more times; at least one of the reflection surfaces of the member 30 has optical power, and it is made eccentric from an optical axis. The projection optical

system (prism member 30) and the scanning means 23 are arranged between a pupil 21 and the element 24 being an image surface in terms of the tracking of a back light beam, and a light beam from the pupil 21 passes through the member 30 and reaches the means 24.

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-4955

(P2001-4955A)

(43)公開日 平成13年1月12日(2001.1.12)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テーマコード(参考)

G 0 2 B 27/02

G 0 2 B 27/02

Z 2 H 0 4 5

26/10

1 0 1

26/10

1 0 1

審査請求 未請求 請求項の数3 O L (全 50 頁)

(21)出願番号 特願平11-174970

(22)出願日 平成11年6月22日(1999.6.22)

(71)出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(72)発明者 久芳圭一

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ

ンパス光学工業株式会社内

(74)代理人 100097777

弁理士 龜澤 弘 (外7名)

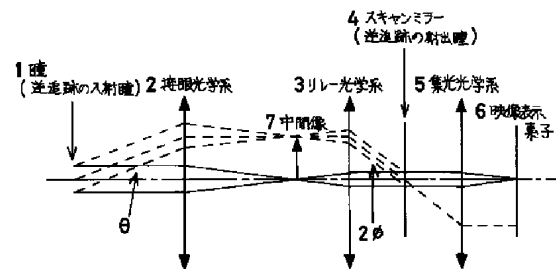
Fターム(参考) 2H045 AB01 AB13 BA13 DA31

(54)【発明の名称】 映像表示装置

(57)【要約】

【課題】 少ない光学素子で構成された小型な走査型映像表示装置用の光学系。

【解決手段】 映像表示素子24と、走査手段23と、投影光学系とからなり、投影光学系がプリズム部材30を少なくとも1個有し、プリズム部材30は、光束をプリズム部材に入射させる透過面31と、光束をプリズム部材内で反射させる反射面32、31、33、光束をプリズムから射出する透過面34の少なくとも3面を有しており、プリズム部材30での反射回数の合計が3回以上で、プリズム部材30の反射面の少なくとも1面が光学的パワーを有し、光軸に対して偏心しており、逆光線追跡で、瞳21と像面である映像表示素子24の間に投影光学系30と走査手段23が配置され、瞳21からの光線はプリズム部材30を経て走査手段24に至る。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 映像を表示する映像表示素子と、前記映像表示素子を発する光を走査する走査手段と、前記映像表示素子によって形成され前記走査手段により走査された映像を投影する投影光学系とからなる映像表示装置において、前記投影光学系が、1より大きな屈折率の媒質で構成されたプリズム部材を少なくとも1個有し、前記プリズム部材は、光束をプリズム部材に入射させる透過面と、光束をプリズム部材内で反射させる反射面、光束をプリズムから射出する透過面の少なくとも3面を有しており、前記投影光学系が含む前記プリズム部材での反射回数の合計が3回以上で、前記プリズム部材の反射面の少なくとも1面が光学的パワーを有し、光軸に対して偏心しており、逆光線追跡で、瞳と像面である映像表示素子の間に前記投影光学系と前記走査手段が配置され、瞳からの光線は少なくとも前記プリズム部材を経て前記走査手段に至ることを特徴とする映像表示装置。

【請求項2】 前記投影光学系が、反射面の少なくとも1面と透過面の少なくとも1面が同一面に形成された透過と反射の兼用面を備えていることを特徴とする請求項1記載の映像表示装置。

【請求項3】 前記投影光学系が、瞳から前記映像表示素子に向かう逆光線追跡で、少なくとも、前記プリズム部材へ入射する第1透過面、光学的パワーを有し光軸に対して偏心した第1反射面、第2反射面、第3反射面、第4反射面、前記プリズム部材から射出して前記走査手段に至る第2透過面を含み、前記第1透過面と前記第2反射面、前記第3反射面と前記第2透過面が同一面であり、前記第2反射面と前記第4反射面の間に中間像を形成することを特徴とする請求項1記載の映像表示装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、映像表示装置に関し、特に、観察者の頭部又は顔面に保持することを可能にする頭部又は顔面装着式映像表示装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】走査型の映像表示装置の中、走査型の頭部装着式映像表示装置（いわゆるHMD）の従来技術には次のものがある。

【0003】従来技術1（特開平8-54578号）：図33に示すように、レーザからの光束をA-O変調器で変調し、その変調光は多角形走査装置（ポリゴンミラー）で1次元方向に走査され、2枚の中継ミラーを経て光ファイバリボンの入射端に入射され、その出射端からその1次元走査像が射出する際に光ファイバリボンの出射端が振動されて2次元走査像が形成され、その走査像が投影光学系と凹面鏡を経て観察者眼球内に投影されることにより、映像が表示される。

【0004】従来技術2（特開平9-5903号）：図34に示すように、LEDアレイからの光束が対物レンズを経て回転反射鏡（ポリゴンミラー）でLEDアレイの配置方向と直角な方向に走査され、かつ、左右の観察光路に分けられ、それぞれ固定反射鏡を経て中間実像を形成して接眼レンズにより観察者の左右の眼球に走査像が投影されることにより、両眼に映像が表示される。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、図33の従来技術1の場合、光学系は、凹面鏡1個+光ファイバリボンの後のレンズ5個（投影光学系）+光ファイバリボン1個+中継ミラー2個+ポリゴンミラー1個+レンズ1個（リレーレンズ）+光源1個（レーザ）の計12個以上の光学部品が必要である。

【0006】また、図34の従来技術2の場合、片眼用には、光源1個+レンズ5個+ミラー1個+ポリゴンミラー1個の計8個の光学部品が必要で、両眼用には、光源1個+レンズ7個+ミラー2個+ポリゴンミラー1個の計11個の光学部品が必要となる。

【0007】このように、従来技術においては光学系を構成する部品点数が非常に多いので、各部品の位置調整が大変である。

【0008】また、映像表示素子、レンズ、スキャンミラー等で構成される光学系全体の大きさが大きいので、顔面に装着するHMD光学系としては不適切である。

【0009】本発明はこのような従来技術の問題点を解決するためになされたものであり、その目的は、少ない光学素子によって構成された小型な走査型映像表示装置用の光学系を提供することである。

## 【0010】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成する本発明の第1の映像表示装置は、映像を表示する映像表示素子と、前記映像表示素子を発する光を走査する走査手段と、前記映像表示素子によって形成され前記走査手段により走査された映像を投影する投影光学系とからなる映像表示装置において、前記投影光学系が、1より大きな屈折率の媒質で構成されたプリズム部材を少なくとも1個有し、前記プリズム部材は、光束をプリズム部材に入射させる透過面と、光束をプリズム部材内で反射させる反射面、光束をプリズムから射出する透過面の少なくとも3面を有しており、前記投影光学系が含む前記プリズム部材での反射回数の合計が3回以上で、前記プリズム部材の反射面の少なくとも1面が光学的パワーを有し、光軸に対して偏心しており、逆光線追跡で、瞳と像面である映像表示素子の間に前記投影光学系と前記走査手段が配置され、瞳からの光線は少なくとも前記プリズム部材を経て前記走査手段に至ることを特徴とするものである。

【0011】なお、複数のプリズム部材がある場合、反射回数の合計が3以上ということであり、各プリズム部

材で各3回以上反射するというではない。

【0012】この映像表示装置は後記の実施例1～11が対応する。

【0013】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。3回以上の反射による折り畳みの効果で、光学系を小型化することができる。また、光学的パワーを有し光軸に対して偏心(displacementあるいはtilt)した反射面は、レンズ作用とミラー作用を持つので、光学系を構成する部品点数を削減することができる。

【0014】この場合、光学的パワーを有し光軸に対して偏心した反射面をプリズム部材の1面として構成すると、瞳からの光線が透過面で屈折されるので、光学的パワーを有し光軸に対して偏心した反射面以降への軸外光線の入射光線高を低く設定することができる。そのため、光学系を小型にできると共に、より大きな画角を実現することができる。また、軸外光線の従属光線高も低くなるので、コマ収差等の発生を抑制することもできる。

【0015】一般に、反射面は屈折面より偏心誤差を厳しく制御しなければならないので、組み立て調整作業が大変になる。しかし、反射面をプリズム部材の1面として構成すれば、この反射面の調整作業が削減できる。

【0016】本発明の第2の映像表示装置は、第1の映像表示装置において、投影光学系が含むプリズム部材での反射回数の合計が4回以上であることを特徴とするものである。なお、複数のプリズム部材がある場合、反射回数の合計が4以上ということであり、各プリズム部材で各4回以上反射するというではない。

【0017】この映像表示装置は後記の実施例1、3～11が対応する。

【0018】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。反射回数を4回以上とすることで、折り畳みによる光学系の小型化の効果を更に大きくすることができるし、収差補正上も好ましい。

【0019】本発明の第3の映像表示装置は、第1の映像表示装置において、投影光学系の反射面が光学的パワーを有することを特徴とするものである。

【0020】この映像表示装置は後記の実施例1～11が対応する。

【0021】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。レンズ作用とミラー作用の両方を持つ反射面が3面以上あると、光学系の小型化の効果が更に大きくなる。また、投影光学系のパワーの主体を反射作用に持たせるので、投影光学系での色収差の発生が少なくなる。

【0022】本発明の第4の映像表示装置は、第1の映像表示装置において、投影光学系が、反射面の少なくとも1面と透過面の少なくとも1面が同一面に形成された透過と反射の兼用面を備えていることを特徴とするものである。

【0023】この映像表示装置は後記の実施例1～11

が対応する。

【0024】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。透過と反射という2つの作用を同一面で行うので、光学系を構成する面数を削減し、光学系を単純で小型なものにすることができる。

【0025】本発明の第5の映像表示装置は、第4の映像表示装置において、少なくとも1つのプリズム部材が、瞳から映像表示素子に向かう逆光線追跡で、少なくとも、プリズム部材へ入射する第1透過面、光学的パワーを有し光軸に対して偏心した第1反射面、第2反射面、プリズム部材から射出する第2透過面を含み、少なくとも第1透過面と第2反射面が同一の兼用面であることを特徴とするものである。

【0026】この映像表示装置は後記の実施例1～11が対応する。

【0027】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。第1透過面と第2反射面を別の面として構成すると、次の不具合が発生する。すなわち、第1透過面と第2反射面を別の面として構成するには、第2反射面を第1透過面から離れた別の位置に形成する必要がある。このため、第1反射面と第2反射面の間隔を大きくしたり、第1反射面での反射角度を大きくする必要がある。その結果、光学系が大型化したり、他の面で補正しきれないような大きな偏心収差が第1反射面で発生する。この第1透過面と第2反射面を兼用面とすることで、この不具合を解消できる。

【0028】本発明の第6の映像表示装置は、第5の映像表示装置において、逆光線追跡で、第2反射面における反射が全反射であることを特徴とするものである。

【0029】この映像表示装置は後記の実施例1～11が対応する。

【0030】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。第2反射面における反射を全反射ではなく、反射膜での反射により行おうとすると、以下の不具合が生ずる。すなわち、第1透過面と第2反射面は兼用面であるので、第2反射面用の反射膜を第1透過面用の透過領域と離れた別の位置に形成する必要がある。このため、第1反射面と第2反射面の間隔を大きくしたり、第1反射面での反射角度を大きくする必要がある。その結果、光学系が大型化したり、他の面で補正しきれないような大きな偏心収差が第1反射面で発生する。この第2反射面での反射を全反射とすることで、この不具合を解消することができる。また、反射膜を作製する必要がなくなり、コストが削減できる。

【0031】本発明の第7の映像表示装置は、第1の映像表示装置において、投影光学系が、瞳から映像表示素子に向かう逆光線追跡で、少なくとも、プリズム部材へ入射する第1透過面、光学的パワーを有し光軸に対して偏心した第1反射面、第2反射面、第3反射面、プリズム部材から射出して走査手段に至る第2透過面を含み、

第1透過面と第2反射面が同一の兼用面であり、第2反射面と第3反射面の間に中間像を形成することを特徴とするものである。

【0032】この映像表示装置は後記の実施例1～2が対応する。

【0033】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。少なくとも、第1透過面、第1反射面、第2反射面の少なくとも3面の光学作用により瞳からの光を中間像として結像する光学系を構成し、第3反射面、第2透過面の少なくとも2面の光学作用で中間像を走査手段に導く光学系を構成するので、それぞれの光学系の収差補正を良好に行うことができる。また、第1透過面と第2反射面が兼用面なので、少なくとも4面構成で瞳からの光を中間像として結像する光学系と中間像を走査手段に導く光学系とを構成することができる。光学系を構成する面が少ないので、光学系を小型化できる。また、光学系を成形で製作する際の型が少なく済むので、製作コストが下がる。また、逆光線追跡で、瞳から走査手段に至る光学系が、反射作用を主体に構成されているので、色収差の発生が少ない。

【0034】本発明の第8の映像表示装置は、第7の映像表示装置において、投影光学系が、瞳から映像表示素子に向かう逆光線追跡で、走査手段で反射した後、プリズム部材の第4反射面を経て映像表示素子に結像することを特徴とするものである。

【0035】この映像表示装置は後記の実施例1が対応する。

【0036】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。逆光線追跡で、映像表示素子に結像する投影光学系が反射作用を中心に構成されているので、色収差の発生が少ない。また、少なくとも4回の反射による折り畳みの効果で投影光学系を小型化できる。また、逆光線追跡で、走査手段の前の透過面と走査手段の後の反射面をプリズム部材に形成する際に、1つの型で形成することができる。また、走査手段と映像表示素子を近い位置に配置することができるので、光学系の突出量が減る。また、本発明の光学系をHMD光学系として使用する場合、走査手段と映像表示素子をプリズム部材の上に配置することができるので、光学系全体の重量バランスが良くなる。

【0037】本発明の第9の映像表示装置は、第7の映像表示装置において、投影光学系が、瞳から映像表示素子に向かう逆光線追跡で、走査手段で反射した後、少なくとも、第3透過面、第4透過面を経て映像表示素子に結像することを特徴とするものである。

【0038】この映像表示装置は後記の実施例2が対応する。

【0039】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。走査手段と映像表示素子の間隔が確保できるので、映像表示素子に必要な光束の発散角を小さくでき

る。また、走査手段から映像表示素子に至る光学系を、少なくとも、2面構成にできるので、映像表示素子光の配光特性を補正することができる。

【0040】本発明の第10の映像表示装置は、第7の映像表示装置において、投影光学系が、第1プリズム部材と第2プリズム部材を含み、瞳から映像表示素子に向かう逆光線追跡で、第1プリズム部材が、第1プリズム部材へ入射する第1透過面、光学的パワーを有し光軸に対して偏心した第1反射面、第2反射面、第1プリズム部材からの射出面を含み、第2プリズム部材が、第2プリズム部材への入射面、第3反射面、第2プリズム部材から射出して走査手段に至る第2透過面、を含み、第1透過面と第2反射面が同一面であり、第2反射面と第3反射面の間に中間像を形成することを特徴とするものである。

【0041】この映像表示装置は後記の実施例1が対応する。

【0042】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。中間像に近い位置にある第1プリズム部材の射出面と第2プリズム部材への入射面で、ディストーションや瞳収差の制御を効率良く行うことができるので、直線走査性や等速走査性を向上させることができる。

【0043】本発明の第11の映像表示装置は、第7～第10の映像表示装置において、第2反射面での反射が全反射であることを特徴とするものである。

【0044】この映像表示装置は後記の実施例1～2が対応する。

【0045】この映像表示装置の作用効果は第6の映像表示装置と同じである。

【0046】本発明の第12の映像表示装置は、第1の映像表示装置において、投影光学系が、瞳から映像表示素子に向かう逆光線追跡で、少なくとも、プリズム部材へ入射する第1透過面、光学的パワーを有し光軸に対して偏心した第1反射面、第2反射面、第3反射面、第4反射面、プリズム部材から射出して走査手段に至る第2透過面を含み、第1透過面と第2反射面、第3反射面と第2透過面が同一面であり、第2反射面と第4反射面の間に中間像を形成することを特徴とするものである。

【0047】この映像表示装置は後記の実施例3～11が対応する。

【0048】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。反射作用を主体に構成されているので、色収差の発生が少ない。また、少なくとも、第1透過面、第1反射面、第2反射面の3面以上で瞳からの光を中間像として結像する光学系を、少なくとも、第4反射面、第2透過面の2面以上で中間像を走査手段に導く光学系を構成するので、収差補正を良好に行うことができる。また、第1透過面と第2反射面、第3反射面と第2透過面の2箇所が兼用面なので、少なくとも4面構成で6面の光学作用を持たせることができる。光学系を構成する面が少

ないので、光学系を小型化できる。また、成形で製作する際の型が少なく済むので、製作コストが下がる。また、少なくとも4回反射させているので、折り畳みの効果で光学系を小型化できる。

【0049】本発明の第13の映像表示装置は、第12の映像表示装置において、投影光学系が、瞳から映像表示素子に向かう逆光線追跡で、走査手段で反射した後、少なくともプリズム部材へ入射する第3透過面、第5反射面、プリズム部材を射出する第4透過面を経て映像表示素子に結像し、第3反射面と第2透過面と第3透過面が同一面であることを特徴とするものである。

【0050】この映像表示装置は後記の実施例3～11が対応する。

【0051】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。第1透過面と第2反射面、第3反射面と第2透過面と第3透過面の2個所が兼用面なので、少なくとも6面構成で9面の光学作用を持たせることができる。光学系を構成する面が少ないので、光学系を小型化できる。また、成形で製作する際の型が少なく済むので、製作コストが下がる。また、走査手段から映像表示素子に至る光学系を、少なくとも2面構成にできるので、映像表示素子光の配光特性を補正することができる。

【0052】本発明の第14の映像表示装置は、第13の映像表示装置において、投影光学系が、瞳から映像表示素子に向かう逆光線追跡で、走査手段で反射した後、少なくともプリズム部材へ入射する第3透過面、第5反射面、プリズム部材を射出する第4透過面を経て映像表示素子に結像し、第3反射面と第2透過面と第3透過面と第4透過面が同一面であることを特徴とするものである。

【0053】この映像表示装置は後記の実施例3、4が対応する。

【0054】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。第1透過面と第2反射面、第3反射面と第2透過面と第3透過面と第4透過面の2個所が兼用面なので、少なくとも5面構成で9面の光学作用を持たせることができる。光学系を構成する面が少ないので、光学系を小型化できる。また、成形で製作する際の型が少なく済むので、製作コストが下がる。

【0055】本発明の第15の映像表示装置は、第12の映像表示装置において、投影光学系が、第1プリズム部材と第2プリズム部材を含み、瞳から映像表示素子に向かう逆光線追跡で、第1プリズム部材が、第1プリズム部材へ入射する第1透過面、光学的パワーを有し光軸に対して偏心した第1反射面、第2反射面、第1プリズム部材から射出する第2透過面を含み、第2プリズム部材が、第2プリズム部材へ入射する第3透過面、第3反射面、第4反射面、第2プリズム部材から射出して走査手段に至る第4透過面、走査手段から第2プリズム部材に入射する第5透過面、第5反射面、第2プリズム部材

から射出して映像表示素子に至る第6透過面を含むことを特徴とするものである。

【0056】この映像表示装置は後記の実施例9、10が対応する。

【0057】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。中間像付近に第1プリズム部材の射出面である第2透過面と第2プリズム部材の入射面である第3透過面を配置できるので、ディストーションや瞳収差の制御を効率良く行うことができ、直線走査性や等速走査性を向上させることができる。

【0058】本発明の第16の映像表示装置は、第1の映像表示装置において、投影光学系が、瞳から映像表示素子に向かう逆光線追跡で、入射瞳と走査手段が略共役な位置関係にあり、投影光学系内で一度中間結像し、入射瞳から中間像までの光学系と、中間像から走査手段までの光学系が中間像に対して対称な構成となっていることを特徴とするものである。ここでいう、中間像に対して対称な構成とは、折り曲げ光路が、中間像に関して点対称や面对称であることや、パワー配分（正か負か）が、中間像に関して対称であること等をさす。

【0059】この映像表示装置は後記の実施例3～11が対応する。

【0060】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。図1のように、投影光学系を接眼光学系2とリレー光学系3で構成する。走査手段4が瞳位置付近にあるので、順追跡で瞳1に投影される光がけられないし、走査手段4の大きさを小さくすることができる。なお、図1は説明のための概念図なので、説明しやすいように音響光学偏向器AODのような透過型の走査手段の場合について説明している。また、この図は2次元走査手段を使用する場合の説明図である。

【0061】図1の構成において、逆光線追跡で、瞳1から中間像7までの光学系（接眼光学系2）と中間像7から走査手段4までの光学系（リレー光学系3）が対称な構成だと、それぞれの光学系で発生する収差が打ち消しあうので、投影光学系全体の収差を効果的に補正することができる。

【0062】本発明の第17の映像表示装置は、第1、7～16の映像表示装置において、投影光学系が、映像表示素子光を集光光学系で略コリメートし、瞳と略共役な位置の走査手段に導き、走査手段で走査した光をリレー光学系で中間像として結像し、中間像を接眼光学系で瞳に導く構成で、逆光線追跡で、投影光学系が、入射瞳と前記走査手段の間に少なくとも3面の光学的パワーを持つ反射面を有し、逆光線追跡で、接眼光学系が少なくとも2面の反射面を有し、リレー光学系が少なくとも1面の反射面を有し、入射瞳からの光に対する2回目の反射面と、走査手段の手前の最後の反射面の間に中間像を形成することを特徴とするものである。

【0063】この映像表示装置は後記の実施例1～11

が対応する。

【0064】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。図1で、収差補正上、逆光線追跡で、接眼光学系2は少なくとも3面の光学作用を受け中間像を形成し、リレー光学系3は少なくとも2面の光学作用による収束作用を受け走査手段に導かれることが望ましい。この第17の映像表示装置の構成とすることで、逆光線追跡で、接眼光学系2は、少なくとも透過屈折面による作用と少なくとも2面の光学的パワーを有する反射面の少なくとも合計3面の光学作用面を有する。また、リレー光学系3は、少なくとも1回の光学的パワーを有する反射面と少なくとも1回の屈折透過面作用の少なくとも合計2面の光学作用面を有する。したがって、収差補正上好ましい。

【0065】本発明の第18の映像表示装置は、第17の映像表示装置において、投影光学系が、逆光線追跡で、瞳からの光を中間像として形成する接眼光学系が少なくとも2面の反射面を有し、中間像からの光を走査手段に導くリレー光学系が少なくとも2面の反射面を有することを特徴とするものである。

$$0.1 \leq \phi / \theta \leq 1.8$$

ここで、必ずしも走査手段が $\pm\phi$ 振れるという訳ではない。走査手段の振れ角の一部を利用して映像表示を行う場合は、映像表示に使うのが $\pm\phi$ ということである。この映像表示装置は後記の実施例1～11が対応する。

【0070】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。光学系を図1のように構成するとする。このような光学系における最適な瞳倍率＝射出瞳径／入射瞳径を考える。図1の場合は、瞳収差の影響を除けば、スキャナ有効径＝瞳径である。しかし、ポリゴンミラーやガルバノミラーのような反射型の走査手段4は、一般に、図2のように、光軸（軸上主光線）と基準反射面が角度をなすために、ミラーの面積が図1の場合より大きくなってしまい、偏心光学系の場合は瞳も偏心しているので、瞳径を定義し難い。そこで、逆追跡で、リレー光学系3から走査手段4に入射する半画角 $2\phi$ と、瞳1から接眼光学系2に入射する半画角 $\theta$ との比を近似的瞳倍率

$$0.25 \leq \phi / \theta \leq 1.7$$

この映像表示装置は後記の実施例1～11が対応する。

【0075】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。図1、図2の光学系では、順追跡において、リレー光学系でマイナスのディストーションが発生し、接眼光学系でプラスのディストーションが発生する。正弦波状に振動するミラーを走査手段として利用する場合、電氣的像歪み補正なしに等速走査するには、投影光学系でプラスのディストーションを発生させ $f$ アークサイン $\theta$ レンズとすることが必要である（ $2\phi$ が $20^\circ$ 程度以下の場合）。 $\phi$ が大きいと、リレー光学系で発生するマイナスのディストーションが大きくなり、投影光学系全体でプラスのディストーションを発生させる $f$ アークサイ

【0066】この映像表示装置は後記の実施例3～11が対応する。

【0067】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。偏心収差を完全に補正するには、瞳からの光を中間像として形成する接眼光学系が少なくとも2面の反射面を有し、中間像からの光を走査手段に導くリレー光学系が少なくとも2面の反射面を有することが望ましい。これは、特に、ディストーションを制御し、電氣的像歪み補正なしに直線走査・等速走査をするために重要である。

【0068】本発明の第19の映像表示装置は、第1、7～16の映像表示装置において、逆光線追跡で、入射瞳から投影光学系に入射した光は、一度中間像として結像した後に、入射瞳と略共役な位置の走査手段を経て映像表示素子に結像し、走査手段の走査方向における入射瞳から投影光学系に入射する半画角 $\theta$ と、走査手段の走査方向における映像表示に必要な走査手段の片側振れ角 $\phi$ が次式を満たすことを特徴とするものである。

【0069】

$$\dots (1)$$

と考える。

【0071】1次元スキャンの場合は、図1や図2のように、走査する面内における $\theta$ と $\phi$ を考える。2次元スキャンの場合は、主走査方向と副走査方向の直交する2つの面内での $\theta$ と $\phi$ を考える。

【0072】式(1)の上限の1.8を越えると、走査手段からリレー光学系に入射する角度が大きくなりすぎ、リレー光学系等での収差補正が困難になる。下限の0.1を越えると、同じ中間像の大きさを得るにはリレー光学系の焦点距離を大きくする必要があり、光学系を小型化するのが困難になる。

【0073】本発明の第20の映像表示装置は、第19の映像表示装置において、次式を満たすことを特徴とするものである。

【0074】

$$\dots (1-1)$$

$\theta$ レンズの設計が困難になる。よって、上記条件式の上限1.7を満足することが望ましい。また、顔面に装着するHMD用の光学系として小型化するためには、下限の0.25を満足することが望ましい。

【0076】本発明の第21の映像表示装置は、第1、7～16の映像表示装置において、逆光線追跡において、入射瞳から入射した光線が中間像を形成する際に、入射瞳から中間像に入射する主光線が収束状態であることを特徴とするものである。

【0077】この映像表示装置は後記の実施例1～10が対応する。

【0078】この映像表示装置の作用効果を以下に説明



する。図3に示すように、逆光線追跡において、中間像7に入射する主光線が収束状態だと、接眼レンズ2から中間像7、リレーレンズ3を経て走査手段4に至るまでの光束の有効径を小さくすることができる。また、中間像7からリレーレンズ3に入射する主光線が収束状態なので、リレーレンズ3と走査手段4の間隔を小さくすることができる。そのため、光学系を小型化できる。

【0079】ここで、偏心光学系の場合、一般に、中間像が軸上主光線に対して傾斜しているので、中間像に対する主光線の入射角では収束具合は規定できない。そこで、各光束の主光線の入射角と軸上主光線の入射角の差で限定する。この場合、逆光線追跡において、入射瞳から入射した光線が中間像に入射する入射角と軸上光線の入射角の差が $20^\circ$ 以内であることが望ましい。逆光線追跡において、接眼光学から中間像へ $20^\circ$ 以上の大き

$$1 \geq y' / y > 0, 7$$

を満たすことを特徴とするものである。ここで、 $y$ は光学系における中間像高、 $y'$ は2つのプリズム部材が対向する面における最軸外光束の主光線高である。

【0084】この映像表示装置は後記の実施例1、9～10が対応する。

【0085】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。上記条件式は、プリズム部材が中間像付近で2つのプリズム部材に分割されていることを意味する。中間像付近は、光束が細く各画角の光束の位置が異なる。この箇所では光学系を2つのプリズム部材に分割すれば、2つのプリズム部材の中間像に対する面により、ディストーションや瞳収差を効果的に補正することができる。特に、電氣的像歪み補正なしに直線走査や等速走査を行うために、光学系を $f$ θレンズや $f$ アークサインθレンズにする際には、この面でのディストーションの補正が重要になる。中間像付近で2つのプリズムに分割する場合、中間像の位置に拡散板等の瞳拡大作用を持つ光学素子を置けば、順追跡で、映像表示素子から中間像までは小さな瞳径に対して光学系を構成すればよいので、光学系の設計が容易になる。

【0086】本発明の第24の映像表示装置は、第23

$$2, 0 > Nd > 1, 4$$

ことを特徴とするものである。

【0090】この映像表示装置は後記の実施例1～11が対応する。

【0091】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。プリズム部材は、透明度が高く加工性の問題の少ない光学ガラス又は光学プラスチックで形成するのが好ましい。この条件を外れると、媒質の透明度が低く、加工性も悪くなる。

【0092】本発明の第26の映像表示装置は、第25の映像表示装置において、プリズム部材が、光学プラスチックであることを特徴とするものである。

【0093】この映像表示装置は後記の実施例1～11

な角度で入射させると、リレー光学系の収差補正が困難になる。よって、この条件を満足することが望ましい。

【0080】本発明の第22の映像表示装置は、第1の映像表示装置において、投影光学系が、プリズム部材を1個含むことを特徴とするものである。

【0081】この映像表示装置は後記の実施例1～8、11が対応する。

【0082】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。1つのプリズム部材で投影光学系を構成できれば、光学系の部品点数と位置調整作業が減るので、コストが下がり、製作時に性能を確保するのも容易になる。

【0083】本発明の第23の映像表示装置は、第1、10、15、16の映像表示装置において、投影光学系が、プリズム部材を少なくとも2個含み、

・・・(2)

の映像表示装置において、投影光学系が、プリズム部材を2個含み、逆光線追跡で、瞳から第1プリズム部材と第2プリズム部材を経て前記映像表示素子に至るとき、第2プリズム部材内に中間像を形成していることを特徴とするものである。

【0087】この映像表示装置は後記の実施例1、9～10が対応する。

【0088】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。逆光線追跡で、瞳と投影光学系の間隔を確保しようとする、接眼光学系の焦点距離をある程度大きくする必要がある、接眼光学系と中間像の間隔はある程度必要になる。この場合に、投影光学系全体を小型化するには、第2プリズム内に中間像を形成する必要がある。本発明の光学系をHMD光学系として利用する場合、アイリリーフを確保する必要がある、この点は特に重要となる。

【0089】本発明の第25の映像表示装置は、第1、7～16の映像表示装置において、プリズム部材の屈折率が1より大きな媒質の $d$ 線(587.56nm)での屈折率を $Nd$ とすると、

・・・(3)

が対応する。

【0094】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。プリズム部材を光学プラスチックで構成すれば、コストと重量が削減できる。この場合、アモルファスポリオレフィン等のような低吸湿材料を用いれば、湿度変化に対しても結像性能の変化が少なくて望ましい。

【0095】本発明の第27の映像表示装置は、第5、7～16の映像表示装置において、逆光線追跡における第1透過面が、第1反射面に対して凸面を向けていることを特徴とするものである。

【0096】この映像表示装置は後記の実施例1～11が対応する。

【0097】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。第1透過面が第1反射面側に凸面を向けた負パワーの場合、第1反射面で反射後に第2反射面(第1透過面との兼用面)で内部反射する際に、第1反射面で発生するコマ収差と像面湾曲の補正を行うことができる。また、第1反射面で反射後に第2反射面(第1透過面との兼用面)で内部反射する際に、この内部反射を全反射にしやすいとする。

【0098】本発明の第28の映像表示装置は、第5、7～16の映像表示装置において、逆光線追跡における第1反射面が、正のパワーを有するように第1透過面側に凹面を向けた形状に構成されていることを特徴とする

$$20 > \theta 1 > -30 \quad [^\circ]$$

を満たすことを特徴とするものである。ただし、入射角 $\theta 1$ は法線に対して反時計回りが正とする。

【0102】この映像表示装置は後記の実施例1～11が対応する。

【0103】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。この条件式の下限の $-30^\circ$ を越えると、第1透過面で発生する倍率の色収差が大きくなる。上限の $20$

$$40 > \theta 2 > 5 \quad [^\circ]$$

を満たすことを特徴とするものである。ただし、入射角 $\theta 1$ は法線に対して反時計回りが正とする。

【0105】この映像表示装置は後記の実施例1～11が対応する。

【0106】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。この条件式の上限の $40^\circ$ を越えると、第1反射面の突出量が大きくなり、また、第2反射面での反射位置までの距離が大きくなるので、光学系が大型化する。また、他の面で補正しきれない程の偏心収差(特に偏心によるコマ収差)が発生するので、第2反射面で発生する収差を少ない面数で補正するには、上限を越えないことが望ましい。また、下限の $5^\circ$ を越えると、第1反射面での反射光が瞳方向に戻るので、光学系が構成できなくなる。

【0107】本発明の第31の映像表示装置は、第5、7～16の映像表示装置において、第1透過面と第2反射面との兼用面が、光学的パワーを与えかつ偏心収差を補正する非回転対称な面形状に形成されていることを特徴とするものである。

【0108】この映像表示装置は後記の実施例1～11が対応する。

【0109】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。軸上主光線に対して偏心している面を使用した光学系では、偏心した面に対する入射角が斜めになるため、軸上光線でも偏心によるコマ収差、非点収差等が発生する。非回転対称面により、この偏心収差、特に非点収差の補正を効果的に行うことができる。また、回転非対称な面を使用することで、主走査方向と副走査方向の両方でfアークサイン $\theta$ レンズを実現するのが容易にな

ものである。

【0099】この映像表示装置は後記の実施例1～11が対応する。

【0100】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。逆光線追跡において、この第1反射面の正パワーにより、瞳からプリズム部材に発散状態で入射する主光線の発散状態を小さくすることができる。そのため、第1反射面以降の光束径を小さくし、光学系を小型化することができる。

【0101】本発明の第29の映像表示装置は、第5、7～16の映像表示装置において、逆光線追跡で、軸上主光線の第1透過面への入射角 $\theta 1$ が、

$$\dots (4)$$

$^\circ$ を越えると、第1反射面で反射後、第2反射面(第1透過面との兼用面)で全反射させるために、第1反射面の傾斜角を非常に大きくする必要が生じ大きな収差が発生するようになる。

【0104】本発明の第30の映像表示装置は、第5、7～16の映像表示装置において、逆光線追跡で、軸上主光線の第1反射面への入射角 $\theta 2$ が、

$$\dots (5)$$

る。

【0110】本発明の第32の映像表示装置は、第5、7～16の映像表示装置において、第1反射面が、光学的パワーを与えかつ偏心収差を補正する非回転対称な面形状に形成されていることを特徴とするものである。

【0111】この映像表示装置は後記の実施例1～11が対応する。

【0112】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。軸上主光線に対して偏心している面を使用した光学系では、偏心した面に対する入射角が斜めになるため、軸上光線でも偏心によるコマ収差、非点収差等が発生する。非回転対称面により、この偏心収差、特に非点収差の補正を効果的に行うことができる。

【0113】本発明の第33の映像表示装置は、第5、7～16の映像表示装置において、逆光線追跡において、走査手段の直前の反射面が、光学的パワーを与えかつ偏心収差を補正する非回転対称な面形状に形成されていることを特徴とするものである。

【0114】この映像表示装置は後記の実施例1～11が対応する。

【0115】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。少ない光学作用面で図1のような構成にするには、逆光線追跡で、スキャナ直前の反射面にリレー光学系の主たる光学パワーを持たせるとよい。スキャナに適切な角度で光線を入射させるために、一般にこの面は軸上主光線に対して偏心しているため、軸上光線でも偏心によるコマ収差、非点収差等が発生する。非回転対称面により、この偏心収差、特に非点収差の補正を効果的に行うことができる。

【0116】本発明の第34の映像表示装置は、第5、7～16の映像表示装置において、逆光線追跡において、走査手段の直後の反射面が、光学的パワーを与えかつ偏心収差を補正する非回転対称な面形状に形成されていることを特徴とするものである。

【0117】この映像表示装置は後記の実施例1～11が対応する。

【0118】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。少ない光学作用面で図1のような構成にするには、逆光線追跡で、スキャナ直後の反射面に集光光学系の主たる光学パワーを持たせるとよい。光学系を小型にする構成上、一般にこの面は軸上主光線に対して偏心しているので、軸上光線でも偏心によるコマ収差、非点収差等が発生する。非回転対称面により、この偏心収差、特に非点収差の補正を効果的に行うことができる。ま

た、LDのように楕円状の断面形状を持つ光を出す映像表示素子を使用する場合、ビーム整形を行うことができるので、映像表示素子光の利用効率が向上する

本発明の第35の映像表示装置は、第31～34の映像表示装置において、回転非対称な面形状が、対称面を1面のみ有する自由曲面形状にて構成されていることを特徴とするものである。

【0119】この映像表示装置は後記の実施例1～11が対応する。

【0120】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。本発明で使用する自由曲面とは、以下の式(a)で定義されるものである。なお、その定義式のZ軸が自由曲面の軸となる。

【0121】

$$Z = c r^2 / [1 + \sqrt{1 - (1+k) c^2 r^2}] + \sum_{j=2}^{60} C_j X^j Y^j \quad \dots (a)$$

ここで、(a)式の第1項は球面項、第2項は自由曲面項である。

【0122】球面項中、  
c：頂点の曲率

k：コーニク定数(円錐定数)  
 $r = \sqrt{X^2 + Y^2}$   
である。

【0123】自由曲面項は、

$$\begin{aligned} & \sum_{j=2}^{66} C_j X^j Y^j \\ &= C_2 X + C_3 Y \\ &+ C_4 X^2 + C_5 XY + C_6 Y^2 \\ &+ C_7 X^3 + C_8 X^2 Y + C_9 XY^2 + C_{10} Y^3 \\ &+ C_{11} X^4 + C_{12} X^3 Y + C_{13} X^2 Y^2 + C_{14} XY^3 + C_{15} Y^4 \\ &+ C_{16} X^5 + C_{17} X^4 Y + C_{18} X^3 Y^2 + C_{19} X^2 Y^3 + C_{20} XY^4 \\ &+ C_{21} Y^5 \\ &+ C_{22} X^6 + C_{23} X^5 Y + C_{24} X^4 Y^2 + C_{25} X^3 Y^3 + C_{26} X^2 Y^4 \\ &+ C_{27} XY^5 + C_{28} Y^6 \\ &+ C_{29} X^7 + C_{30} X^6 Y + C_{31} X^5 Y^2 + C_{32} X^4 Y^3 + C_{33} X^3 Y^4 \\ &+ C_{34} X^2 Y^5 + C_{35} XY^6 + C_{36} Y^7 \\ &\dots \end{aligned}$$

ただし、 $C_j$  (jは2以上の整数)は係数である。

【0124】上記自由曲面は、一般的には、X-Z面、Y-Z面共に対称面を持つことはないが、本発明ではXの奇数次項を全て0にすることによって、Y-Z面と平行な対称面が1つだけ存在する自由曲面となる。例えば、上記定義式(a)においては、 $C_2$ 、 $C_5$ 、 $C_7$ 、 $C_9$ 、 $C_{12}$ 、 $C_{14}$ 、 $C_{16}$ 、 $C_{18}$ 、 $C_{20}$ 、 $C_{23}$ 、 $C_{25}$ 、 $C_{27}$ 、 $C_{29}$ 、 $C_{31}$ 、 $C_{33}$ 、 $C_{35}$ ・・・の各項の係数を0にすることによって可能である。この場合、両眼視用HMDの左眼光学系と右眼光学系を共通化することができ、製作性が良い。

【0125】また、Yの奇数次項を全て0にすることに

よって、X-Z面と平行な対称面が1つだけ存在する自由曲面となる。例えば、上記定義式においては、 $C_3$ 、 $C_5$ 、 $C_8$ 、 $C_{10}$ 、 $C_{12}$ 、 $C_{14}$ 、 $C_{17}$ 、 $C_{19}$ 、 $C_{21}$ 、 $C_{23}$ 、 $C_{25}$ 、 $C_{27}$ 、 $C_{30}$ 、 $C_{32}$ 、 $C_{34}$ 、 $C_{36}$ ・・・の各項の係数を0にすることによって可能である。

【0126】上記対称面の何れか一方を対称面としその対称面方向に偏心させることで、偏心により発生する非回転対称な収差を効果的に補正しながら同時に製作性も向上させることができる。

【0127】本発明の第36の映像表示装置は、第1、7～16の映像表示装置において、投影光学系が回折作用を持つ面を備えていることを特徴とするものである。

【0128】この映像表示装置は後記の実施例6～8が対応する。

【0129】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。DOE（回折光学素子）はスペースをとることなく各種の収差補正を行うことができるので、光学系の小型化に有効である。特に、DOEを使用せずに色収差を制御する場合は、複数の硝材から構成される複数の光学素子により補正を行う必要があるので、以下のようにいくつかの問題が生ずる：

問題① 投影光学系を複数の部材に分割できる構成にする必要があるため、光学系設計上の制約条件となり、小型な光学系の設計を困難にする、

問題② 効果的に色収差の補正を行うにはガラス材料を使用する必要があるため、光学系の重量が増加する。この重量の増加は、光学系を小型軽量にする必要があるHMD光学系の場合に、特に問題となる。

【0130】単色の映像表示素子を使用する光学系の場合は、DOEで発生する色収差は全く関係ないので、DOEにより発生する色収差を気にすることなく効果的に収差補正を行うことができる。また、反射作用を主体とした光学系の場合、色収差はほとんど発生しない。

【0131】しかし、白色映像表示素子を使用する場合や、図4のような構成によりダイクロミックミラー8で赤色、緑色、青色の複数波長のカラー映像表示素子の画素R、G、Bを合成する場合（図4は逆光線追跡の図）、投影光学系の軸上の色収差、倍率の色収差を共に良好に補正しておくことが好ましい。この場合、DOEで色収差の補正を行うのが、光学系の小型化の点で最も好ましい。

【0132】また、図5のような構成により赤色、緑色、青色の複数波長のカラー映像表示素子の画素R、G、Bを合成する場合、逆光線追跡で、投影光学系の光軸方向の結像位置が波長により異なるようにしておくのが好ましい。この場合、DOEで色収差の制御をするのが、光学系の小型化の点で最も好ましい。

【0133】また、図6のような構成により赤色、緑色、青色の複数波長のカラー映像表示素子の画素R、G、Bを合成する場合、逆光線追跡で、光軸と垂直な面内で投影光学系の結像位置が波長により異なる必要がある。この場合、DOEで軸上の色収差の補正と倍率の色収差の制御をするのが、光学系の小型化の点で最も好ましい。

【0134】本発明の第37の映像表示装置は、第36の映像表示装置において、投影光学系の透過面の表面が透過型のDOEを兼ねるか、あるいは、投影光学系の反射面の表面が反射型のDOEを兼ねるか、あるいは、走査手段のミラー反射面が反射型のDOEを兼ねるというように投影光学系あるいは走査手段の表面がDOEを兼ねることを特徴とするものである。

【0135】この映像表示装置は後記の実施例7、8が

対応する。

【0136】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。新たな光学素子を追加する必要がないので、部品点数の増加に伴う光学系の大化やコストアップがない。また、位置合わせ調整作業を複雑にすることもない。

【0137】また、特開平10-20226号に開示されているようなフォトリソグラフィ工程でスキヤナを作製するいわゆるマイクロマシンミラーを使用する場合、スキヤナミラー作製時にスキヤナミラー表面のDOEも作製することができ、DOEの製作コストの増加が少ない。また、本発明の光学系をHMD光学系として利用し、シースルー機能やスーパーインポーズ機能を付加する場合、走査手段は外界光を妨げない位置にあるので、外界光に対してはDOEが作用をせず外界光を明瞭に観察することができる。

【0138】本発明の第38の映像表示装置は、第36の映像表示装置において、プリズム部材と走査手段の間にDOE作用を持つ面を追加して、色収差の制御をすることを特徴とするものである。

【0139】この映像表示装置は後記の実施例6が対応する。

【0140】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。映像表示素子、投影光学系、スキヤナで構成する光学系全体の突出量を増加させることなく、色収差等を制御する機能を付加することができる。これは、特にHMD光学系の場合に有効である。また、スキヤナミラー法線に対するスキヤナミラーへの入射光の入射角が小さく、スキヤナミラーによる偏向角が小さい場合、同じDOEをスキヤナミラーへ入射する光路とスキヤナミラーから反射する光路の両方で使用することができ、効果的である。また、本発明の光学系をHMD光学系として利用し、シースルー機能やスーパーインポーズ機能を付加する場合、走査手段は外界光を妨げない位置にあるので、外界光に対してDOEが作用を持たない構成とすることが容易になるので、外界光を明瞭に観察することができる。

【0141】本発明の第39の映像表示装置は、第38の映像表示装置において、プリズム部材と走査手段の間に配置した透過型DOEにより、プリズム部材射出後に走査手段に入射する光路と、走査手段射出後にプリズム部材に入射する光路の両方の光路で回折作用を受けることを特徴とするものである。

【0142】この映像表示装置は後記の実施例6が対応する。

【0143】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。走査手段へ入射する光路と走査手段から反射する光路の両方でDOEの作用を受ければ、DOEのピッチを大きくすることができ製作性が向上する。このような配置をした多くの場合、走査手段へ入射する光線がDO

Eに入射する位置と走査手段から反射する光線がDOEに入射する位置は異なる。この場合、1つのDOEで複数の作用を与えることができ効果的である。

【0144】本発明の第40の映像表示装置は、第38の映像表示装置において、DOEがスキャナと一体に保持されていることを特徴とするものである。

【0145】この映像表示装置は後記の実施例6が対応する。

【0146】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。DOEとスキャナと一体にしておけば、映像表示素子、投影光学系、スキャナ等を保持する機械的構成を単純にすることができる。また、フォトリソグラフィ工程でスキャナを作製するいわゆるマイクロマシンミラーを使用する場合、スキャンミラー面の保護のために何らかの保護部材でスキャンミラー面を覆うことが望ましい。スキャンミラー面を覆う保護部材としてDOEを利用すれば、部品点数を削減することができる。また、高速スキャナとするためにスキャナを真空パッケージあるいは減圧パッケージとする場合、DOEを密封部材と利用することができ、部品点数を削減することができる。

【0147】本発明の第41の映像表示装置は、第1、7～16の映像表示装置において、走査手段と投影光学系により形成される像の歪みを打ち消すような映像を映像表示素子に表示することを特徴とするものである。

【0148】この映像表示装置は後記の実施例1～11が対応する。ただし、実施例3～11は、電氣的像歪み補正をしてもしなくともどちらでも使用できる。

【0149】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。1次元走査の場合はX方向に走査し、2次元走査の場合はスキャナのY方向の傾角を徐々に変化させながらX方向の走査を繰り返して2次元画像を形成するとする。図7にBで示すように、走査により形成される像が、非直線で非等間隔であるとする。このとき、図7にAで示すように、走査手段と投影光学系により形成される像のディストーションを打ち消すような映像を映像表示素子に表示すれば、走査手段と投影光学系により形成される像は、図7にCで示すように、直線で等間隔となる。このような処理をすれば、投影光学系でディストーションを制御する必要がなくなるので、投影光学系の負担が減り投影光学系の設計が楽になる。その結果、光学系をより小型化しやすくなる。

【0150】本発明の第42の映像表示装置は、第41

$$|\theta_s| \leq 60^\circ$$

この映像表示装置は後記の実施例1～11が対応する。

【0159】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。同じ光束径でも、走査手段に対する軸上主光線の入射角が大きくなると、走査ミラーの面積が大きくなり、高速走査が難しくなる。よって、条件式(6)を満足することが望ましい。

$$10^\circ \leq |\theta_s| \leq 45^\circ$$

の映像表示装置において、電氣的像歪み補正が、等速走査性の補正であることを特徴とするものである。

【0151】この映像表示装置は後記の実施例3～11が対応する。ただし、実施例3～11は、この補正をしてもしなくともどちらでも使用できる。

【0152】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。走査手段+投影光学系による走査像が直線走査されるのが非等速走査で、図8の実線の像が形成されるとする。この場合、各像位置の相対的スキャン速度の逆数が、その位置の相対的な映像表示間隔となるような映像を映像表示素子に表示すれば、形成される像は図8の破線の直線走査・等速走査の像である。この場合、各画素の映像表示時間は一定のまま、画素と画素の映像表示間隔を変化させてもよいし、例えば映像表示時間=映像表示間隔となるように、各画素の映像表示時間を変化させてもよい。後者の場合、眼の感度を考慮し、画素毎に映像表示素子に表示する映像の強度を変えるとよい。

【0153】図7の直線走査性と等速走査性の両方の補正に比べ、等速走査性の補正は、処理すべきデータ数が減るので、高解像度走査・高速走査時のリアルタイム処理に対応しやすい。したがって、直線走査性と等速走査性の両方の補正を行う場合に比べ、高解像度・高速走査ができる。

【0154】本発明の第43の映像表示装置は、第1、7～16の映像表示装置において、走査手段が2次元走査をすることを特徴とするものである。

【0155】この映像表示装置は後記の実施例1～11が対応する。

【0156】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。図9に示すように、紙面内方向を走査する1次元走査手段4'と紙面と垂直方向を走査する1次元走査手段4''という2つの1次元走査手段を利用する場合は、この2つの走査手段を共役にする光学系9が必要があるので、光学系が大型化する。2次元走査手段を利用すれば、図1、図2に示すように、光学系を小型化することができる。これは、本発明をHMD光学系として利用する場合に、特に有効である。

【0157】本発明の第44の映像表示装置は、第1、7～16の映像表示装置において、走査手段の法線に対する軸上主光線の入射角 $\theta_s$ が次式を満足することを特徴とするものである。

【0158】

$$\cdots (6)$$

【0160】本発明の第45の映像表示装置は、第44の映像表示装置において、走査手段に対する軸上主光線の入射角が次式を満足することを特徴とするものである。

【0161】

$$\cdots (6-1)$$

この映像表示装置は後記の実施例1～11が対応する。

【0162】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。上限の $45^\circ$ を越えると、走査ミラーを反射した光の偏向度が大きくなりすぎ、光学系も大型化する。よって、条件式の上限を満足することが望ましい。また、走査手段の走査ミラーに対する軸上主光線の入射角が小さすぎると、走査ミラーに入射する光路と走査ミラーを反射する光路の差が小さく、走査ミラーに入射させる光学系と走査ミラーで反射後の光学系の構成が難しくなる。よって、条件式の下限の $10^\circ$ を満足することが望ましい。

【0163】本発明の第46の映像表示装置は、第1、7～16の映像表示装置において、往復走査をすることを特徴とするものである。

【0164】この映像表示装置は後記の実施例1～11が対応する。

【0165】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。往路だけの走査ではなく、往路と復路の両方を利用する往復走査は、走査手段の走査周波数を半分にすることができるので、高速走査をすることができる。

【0166】本発明の第47の映像表示装置は、第1、7～16の映像表示装置において、走査手段は走査方向に正弦波状に振動する走査手段であることを特徴とするものである。

【0167】この映像表示装置は後記の実施例1～11が対応する。

【0168】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。高速走査をするための走査手段は共振ミラーのように正弦波状に振動する。この走査手段を使用することで高速走査に対応できる。

【0169】本発明の第48の映像表示装置は、第47の映像表示装置において、正弦波状に振動する走査手段の振幅の95%以下を映像表示に利用することを特徴とするものである。

【0170】この映像表示装置は電氣的像歪み補正を行わない場合として後記の実施例3～11が対応する。ただし、電氣的像歪み補正を行う場合、実施例1～11は95%以上の振幅に対して使用できる。

【0171】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。正弦波状に振動するスキャンミラーに対して、電氣的像歪み補正なしに等速走査するには、投影光学系を走査方向に関してfアークサイン $\theta$ レンズにする必要がある。1次元fアークサイン $\theta$ レンズに必要なディストーションを、図10に示す。図10は横軸にスキャンミラーから投影光学系への規格化した入射角を取り、縦軸にディストーションを取っている。図10から次のことが分かる。

【0172】①スキャンミラーの振幅 $\phi_0$ が $\pm 5^\circ$ 、 $\pm 10^\circ$ 、 $\pm 15^\circ$ 程度の場合、光学系で+40%以上という非常に大きなディストーションを発生させる必要が

あり、設計が困難である。

【0173】② $\phi_0$ が、 $\pm 5^\circ$ 、 $\pm 10^\circ$ 、 $\dots \pm 25^\circ$ と増えるにつれ、発生させるプラスのディストーションの量が減る。したがって、 $\phi_0$ が大きいと、発生させるディストーションの量が少なくて済むので、この意味では投影光学系の設計がしやすい。一方、 $\phi_0$ が大きいと、広角なリレー光学系の設計を行うことになるので、設計が困難である。

【0174】③ある特定の $\phi_0$ の場合、画面周辺で必要なディストーションの量が急に増加する。

【0175】したがって、①、②より、振幅 $\phi_0$ が小さくても大きくても、投影光学系の設計が困難であることが分かる。特に、HMD光学系は、光学系を小型にするために使用できる光学作用面が限定されるので、正弦波の振幅を全て利用したfアークサイン $\theta$ レンズの設計は困難である。

【0176】そこで、③より、スキャンミラーの振れ角の正弦波の中、線形性が比較的良好な部分のみで映像表示をすれば、ディストーションの制御が楽になるので、投影光学系の設計が容易になる。

【0177】すなわち、図11に示すように、振幅 $\phi_0$ ／ $k$ で正弦波状に振動するスキャンミラーの振幅の $k \times 100\%$ 、すなわち、 $\pm \phi_0$ の範囲のスキャンミラーの振れ角を映像表示に使用するとき、スキャンミラーの振れ角を $\phi$ とする。この場合の各画角における $\phi/\phi_0$ の関係は図12に示すようになる。

【0178】図12より、 $k=0.95$ 以下の場合、すなわち、正弦波の振幅の95%以下を利用すると、 $\phi/\phi_0$ の線形性が良くなり、fアークサイン $\theta$ レンズにするためのディストーションの制御が楽になることが分かる。

【0179】また、正弦波状に振動するミラーの振幅全てを利用して映像表示を行うと、走査速度の速い画面中央部分と走査速度の遅い画面周辺部分の走査速度の差が大きくなりすぎる。その結果、電氣的像歪み補正を行う場合でも精度良く補正を行うことができなくなる。

【0180】以上の理由より、正弦波状に振動する走査手段の振幅の95%以下を映像表示に利用することが望ましい。

【0181】本発明の第49の映像表示装置は、第48の映像表示装置において、正弦波状に振動する走査手段の振幅の90%以下を映像表示に利用することを特徴とするものである。

【0182】この映像表示装置は後記の実施例3～11が対応する。

【0183】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。映像表示に利用する走査手段の振幅の割合を90%にすると、さらに線形性が良くなり、fアークサイン $\theta$ レンズの設計が非常に楽になる。また、映像表示にブランキング期間を設ける場合、正弦波状に振動するミラ

一の振幅の90%程度を利用すればよい。

【0184】本発明の第50の映像表示装置は、第1、7～16の映像表示装置において、主走査方向の走査を繰り返し2次元像を形成するとき、主走査方向は正弦波状に振動する走査ミラーで、副走査方向は振れ角がリニアに変化する走査ミラーであることを特徴とするものである。

【0185】この映像表示装置は後記の実施例9が対応する。

【0186】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。ポリゴンミラーや三角波状に振動するミラーは、スキャンミラーの傾角がリニアに変化する。このようなスキャンミラーを使用して電氣的像歪み補正なしに等速走査するには、投影光学系を $f\theta$ レンズにする必要がある。1次元 $f\theta$ レンズのディストーション特性を図13に示す。画角が小さい場合は $\tan\theta \approx \theta$ であることから、ミラー振れ角 $\phi_0$ が $\pm 20^\circ$ 以下の場合、同じミラー振れ角に対して、 $f\theta$ レンズで発生させるべきマイナスのディストーションの量は、 $f$ アークサイン $\theta$ レンズのプラスのディストーションの量より少ない。すなわち、特に $\phi_0$ が小さい場合、 $f$ アークサイン $\theta$ レンズよりも $f\theta$ レンズの方が設計が容易である。

【0187】一方、垂直方向のスキャナ傾角を徐々に変化させながら水平走査を繰り返して2次元の像を形成する場合、主走査方向である水平方向は高速走査が必要であるが、副走査方向の垂直方向の走査はそれほど高速の走査ではない。

【0188】したがって、主走査方向（水平方向）は正弦波状に振動するミラーで、副走査方向（垂直方向）は振れ角がリニアに変化するミラーを使用すれば、高速走査時に電氣的像歪み補正なしに等速走査をするための投影光学系の設計が容易になる。この場合、投影光学系は、映像表示に利用するミラー振れ角に対して、主走査方向（水平方向）は $f$ アークサイン $\theta$ レンズ特性を持ち、副走査方向（垂直方向）は $f\theta$ レンズ特性を持つことが望ましい。

【0189】本発明の第51の映像表示装置は、第1、7～16の映像表示装置において、主走査方向も副走査方向も正弦波状に振動するミラーであることを特徴とするものである。

【0190】この映像表示装置は後記の実施例10が対応する。

【0191】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。非常に高速で走査する場合には、主走査方向（水平方向）も主走査方向と垂直な副走査方向（垂直方向）も共振ミラーのように正弦波状に振動する走査手段を使用する必要がある。この走査手段を使用することで高速走査に対応できる。この場合、投影光学系は、映像表示に利用するミラー振れ角に対して、主走査方向（水平方向）も副走査方向（垂直方向）も $f$ アークサイン $\theta$ レン

ズ特性を持つことが望ましい。

【0192】本発明の第52の映像表示装置は、第1、7～16の映像表示装置において、走査手段がフォトリソグラフィの工程を利用して製作したマイクロマシンミラーであることを特徴とするものである。

【0193】この映像表示装置は後記の実施例1～11が対応する。

【0194】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。特開平10-20226号に開示されているようなマイクロマシンミラーの場合、走査手段が非常に小型にできる。これは、特に、本発明の映像表示装置をHMDとして利用する場合に、有効である。

【0195】また、例えば、静電駆動方式のマイクロマシンミラーの場合、バックライトと透過型LCD（液晶表示装置）を利用したHMDよりも低消費電力化できる。これは、バッテリー駆動する携帯用のHMDや携帯用のプロジェクタ等の場合に有効である。

【0196】本発明の第53の映像表示装置は、第1、7～16の映像表示装置において、逆光線追跡で、走査手段から映像表示素子に至る光学系が、少なくとも2面の光学作用を有する面で構成され、この光学系を走査手段側と映像表示素子側に2分割する場合、走査手段側でプラスの球面収差を発生させ、映像表示素子側でマイナスの球面収差を発生させるようになっていることを特徴とするものである。

【0197】この映像表示装置は後記の実施例8、9が対応する。

【0198】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。図14に示すように、映像表示素子6の法線から離れるにつれて、映像表示素子6を発する光の強度が弱くなるとする。このようなむらを持つ映像表示素子6からの光を単に収束しただけでは、瞳面での強度むらとなり結像性能上好ましくない。また、本発明の光学系をHMD光学系として利用する場合、瞳面での強度むらがあると、HMDに対する眼球の位置合わせ誤差で明るさが低下するし、虚像10の軸外観察時の明るさ低下にもなり好ましくない。

【0199】そこで、図15(a)、(b)に示すように、逆光線追跡で、スキャナ4から映像表示素子6に至る光学系5を、少なくとも2面の光学作用を有する面で構成し、この光学系5のスキャナ側光学系L2でプラスの球面収差を発生させ、この光学系5の映像表示素子側光学系L1でマイナスの球面収差を発生させれば、強度むらのある光源に対して射出瞳面（スキャナ面）での強度むらを補正することができる。スキャナ4から映像表示素子6に至る光学系は、入射瞳からスキャナ4までの光学系に比べると画角が小さいので、このような球面収差の補正を最も効果的に行うことができる。なお、図15(a)は光学系5を映像表示素子6側から正パワーの光学系L1と正パワーの光学系L2で構成する場合であ

り、図15(b)は正パワーの光学系L1と負パワーの光学系L2で構成する場合である。

【0200】本発明の第54の映像表示装置は、第1、  

$$3 \times G > f \cdot \tan 2\phi / d > G/2$$

を満足することを特徴とするものである。ここで、

G：走査方向画素数

f：映像表示素子から走査手段に至る集光光学系の走査方向面内での焦点距離

$\phi$ ：映像表示に利用する走査手段の走査方向の片側振れ角(± $\phi$ の範囲の走査手段振れ角を映像表示に利用する)

d：走査方向の映像表示素子の大きさの半分

ただし、逆光線追跡において次式で定義されるfを走査手段から映像表示素子に至る集光光学系の焦点距離とする。

【0201】 $f = Y / \beta \tan 2\phi$

ここで、Yは走査方向における中間像の大きさの半分、 $\beta$ は走査方向における映像表示素子から中間像に至る光学系の倍率である。

【0202】なお、本発明の映像表示装置の光学系は、軸上主光線に対して偏心して配置されている面を含む偏心光学系なので、通常の近軸光線追跡では正確な焦点距離を求めることができない。そこで、集光光学系の焦点距離を上記のように定義する。

【0203】この映像表示装置は後記の実施例1～11が対応する。

【0204】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。光学系を図16のように構成するとする。順追跡で、映像表示素子6からの光を集光レンズ5で平行化し、スキャナ4でスキャンした光をリレーレンズ3で中間像7として形成後、接眼レンズ2で瞳1(HMD光学系の場合は、観察者の瞳孔又は回旋中心)に導くとする。このとき、接眼レンズ2からf3の位置でかつリレーレンズ3からf2の位置に中間像7を形成し、リレーレンズ3からf2の位置でかつ集光レンズ5からf1の位置に走査手段4を配置し、集光レンズ5からf1の位置に映像表示素子6を配置するとする。

【0205】また、映像表示素子6に図17(a)又は図17(b)のような映像を表示し、走査方向に走査方向画素数分の映像表示素子6の像を形成するとする。

【0206】このとき、光学系の構成が不適切であると、次のような不具合が生ずる。例えば、映像表示素子  

$$3 \times G > f \cdot \tan 2\phi / d > G/2$$

なお、上記条件式を満たすように、映像表示素子6に遮蔽マスクをしてもよい。

【0213】本発明の第55の映像表示装置は、映像表示素子に表示された映像を虚像として形成し観察者眼球に導く第1～54の映像表示装置と、この映像表示装置を観察者顔面前方に保持する支持部とを備えて構成されたことを特徴とするものである。

7～16の映像表示装置において、走査方向の面内(2次元走査の場合は、主走査方向と副走査方向のそれぞれの面内)で、

・・・(7)

6の大きさが大きすぎたり、光学系の倍率が大きすぎると、図18のように形成した映像表示素子6の像11(仮想的な画素)が大きく重なり合い、良好な像として観察することができなくなる。また、別の例として、映像表示素子6の大きさが小さすぎたり、光学系の倍率が小さすぎたり、映像表示素子6に表示する映像の間隔が大きすぎたりすると、図19のように形成した映像表示素子6の像11(仮想的な画素)が離れすぎ、この場合も、良好な像として観察することができなくなる。

【0207】そこで、観察しやすい良好な像を形成するには、以下に説明するように、映像表示素子6の大きさ、投影光学系の構成、映像表示素子6に表示する映像の間隔を適切に設定する必要がある。

【0208】中間像7における、画素間隔=k・画素大きさ、とすると、

走査方向の画素数G≡中間像の大きさ/仮想画素間隔=(中間像の大きさ/中間像での映像表示素子の像の大きさ)/k=f・tan 2 $\phi$ /(d・k)

となる。良好な像として観察するには、2>k>1に設定するのが好ましい。

【0209】したがって、図16の光学系で、2>k>1とするには、次式を満足する必要がある。

【0210】 $2 \cdot G > f \cdot \tan 2\phi / d > G$

この条件を満たせば、図18や図19のような不具合なく、良好な像として観察することができる。

【0211】以上の説明は、図16のように、接眼レンズ2からf3の位置でかつリレーレンズ3からf2の位置に中間像7を形成し、リレーレンズ3からf2の位置でかつ集光レンズ5からf1の位置に走査手段4を配置し、集光レンズ5からf1の位置に映像表示素子6を配置した場合の結果である。実際には、光学系の小型化のため等に中間像7やスキャナ4や映像表示素子6の位置を図16の位置からずらしたり、電氣的像歪み補正なしに等速走査をするために光学系でディストーションを発生させたりする。したがって、この点を考慮すると、以下の条件式を満足することが望ましい。

【0212】

・・・(7)

【0214】この映像表示装置は後記の実施例1～10が対応する。

【0215】この映像表示装置の作用効果を以下に説明する。映像表示素子としてLCDを用いたHMDは、偏光フィルタとカラーフィルタを使用するので、光源光の利用効率が悪い。本発明の光学系の場合、光源光の利用効率が大きく向上する。また、走査手段として、例えば



静電駆動方式のマイクロマシンミラーを使用すれば、低消費電力化できるので、携帯用のHMDとして最適である。

【0216】本発明の第56の映像表示装置は、第55の映像表示装置において、映像表示装置を観察者の左右の眼に対応してそれぞれ1つずつ配置していることを特徴とするものである。

【0217】この映像表示装置は後記の実施例1～10が対応する。

【0218】この映像表示装置の作用効果を以下に説明すると、左右に視差のある映像を表示するようにすれば、立体視が可能となる。

【0219】本発明の第57の映像表示装置は、映像表示素子に表示された映像を実像として表示する第1～54の映像表示装置を備えて構成されたことを特徴とするプロジェクタ、レーザビームプリンタあるいはバーコードリーダである。

【0220】この映像表示装置は後記の実施例11が対応する。

【0221】この映像表示装置の作用効果を以下に説明すると、映像表示素子としてLCDを用いたプロジェクタは、偏光フィルタとカラーフィルタを使用するので、光源光の利用効率が悪い。本発明の光学系の場合、光源光の利用効率が大きく向上する。また、本発明の光学系は、上述したように、投影光学系にビーム整形機能を持たせることができるので、LDを光源とする光学系のビーム整形用の光学素子を削減することができる。

【0222】

【発明の実施の形態】以下に、本発明の映像表示装置の実施例1から実施例11について図面を参照して説明する。

【0223】各実施例の逆光線追跡での構成パラメータは後記するが、その各実施例の構成パラメータにおいては、図20に示すように、逆光線追跡で、軸上主光線（観察者視軸）22を、光学系の射出瞳（逆光線追跡では入射瞳：観察者の瞳孔あるいは回旋中心位置）21の中心を通り、スキャンミラー23を経て映像表示素子24中心に至る光線で定義する。そして、瞳21の中心を偏心光学面の原点として、軸上主光線22に沿う方向をZ軸方向とし、瞳21から光学系の第1面31に向かう方向をZ軸正方向とし、このZ軸と映像表示素子24中心を含む平面をY-Z平面とし、原点を通りY-Z平面に直交し、紙面の手前から裏面側に向かう方向をX軸正

$$\begin{aligned} x &= R \times \cos(A) \\ y &= R \times \sin(A) \\ Z &= D_2 \\ &+ D_3 R \cos(A) + D_4 R \sin(A) \\ &+ D_5 R^2 \cos(2A) + D_6 (R^2 - 1) + D_7 R^2 \sin(2A) \\ &+ D_8 R^3 \cos(3A) + D_9 (3R^3 - 2R) \cos(A) \\ &+ D_{10} (3R^3 - 2R) \sin(A) + D_{11} R^3 \sin(3A) \end{aligned}$$

方向とし、X軸、Z軸と右手直交座標系を構成する軸をY軸とする。図20には、この座標系を図示してある。その他の実施例を示す図21～図32については、この座標系の図示は省く。

【0224】実施例1～11では、このY-Z平面内で各面の偏心を行っており、また、各回転非対称自由曲面の唯一の対称面をY-Z面としている。

【0225】偏心面については、上記座標系の原点から、その面の面頂位置の偏心量（X軸方向、Y軸方向、Z軸方向をそれぞれX、Y、Z）と、その面の中心軸（自由曲面については、前記(a)式のZ軸）のX軸、Y軸、Z軸それぞれを中心とする傾き角（それぞれ $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ (°)）とが与えられている。なお、その場合、 $\alpha$ と $\beta$ の正はそれぞれの軸の正方向に対して反時計回りを、 $\gamma$ の正はZ軸の正方向に対して時計回りを意味する。

【0226】また、各実施例の光学系を構成する光学作用面の中、特定の面（仮想面を含む。）とそれに続く面が共軸光学系を構成する場合に、面間隔が与えられており、その他、媒質の屈折率、アッペ数が慣用法に従って与えられている。

【0227】また、本発明で用いられる自由曲面の面の形状は前記(a)式により定義し、その定義式のZ軸が自由曲面の軸となる。

【0228】また、DOEについては、設計法としてSweett法（超高屈折率法）を使用し(W.C.Sweatt, "Mathematical equivalence between a holographic optical element and an ultra-high index lens", J.Opt.Soc.Am, Vol.69, No.3(1979)）、基準波長=587.56nm（d線）とし、その基準波長における超高屈折率レンズの屈折率=1.001、アッペ数=-3.45とした。

【0229】なお、データの記載されていない自由曲面に関する項は0である。屈折率については、d線（波長587.56nm）に対するものを表記してある。長さの単位はmmである。

【0230】また、自由曲面の他の定義式として、以下の(b)式で与えられるZernike多項式がある。この面の形状は以下の式により定義する。その定義式のZ軸がZernike多項式の軸となる。回転非対称面の定義は、X-Y面に対するZの軸の高さの極座標で定義され、AはX-Y面内のZ軸からの距離、RはZ軸回りの方位角で、Z軸から測った回転角で表せられる。

【0231】

$$\begin{aligned}
& +D_{12}R^4\cos(4A)+D_{13}(4R^4-3R^2)\cos(2A) \\
& +D_{14}(6R^4-6R^2+1)+D_{15}(4R^4-3R^2)\sin(2A) \\
& +D_{16}R^4\sin(4A) \\
& +D_{17}R^5\cos(5A)+D_{18}(5R^5-4R^3)\cos(3A) \\
& +D_{19}(10R^5-12R^3+3R)\cos(A) \\
& +D_{20}(10R^5-12R^3+3R)\sin(A) \\
& +D_{21}(5R^5-4R^3)\sin(3A)+D_{22}R^5\sin(5A) \\
& +D_{23}R^6\cos(6A)+D_{24}(6R^6-5R^4)\cos(4A) \\
& +D_{25}(15R^6-20R^4+6R^2)\cos(2A) \\
& +D_{26}(20R^6-30R^4+12R^2-1) \\
& +D_{27}(15R^6-20R^4+6R^2)\sin(2A) \\
& +D_{28}(6R^6-5R^4)\sin(4A)+D_{29}R^6\sin(6A)\cdots\cdots \\
& \cdots(b)
\end{aligned}$$

なお、X軸方向に対称な光学系として設計するには、 $D_4$ 、 $D_5$ 、 $D_6$ 、 $D_{10}$ 、 $D_{11}$ 、 $D_{12}$ 、 $D_{13}$ 、 $D_{14}$ 、 $D_{20}$ 、 $D_{21}$ 、 $D_{22}$ …を利用する。

【0232】その他の面の例として、次の定義式(c)があげられる。

$$\begin{aligned}
Z = & C_2 \\
& +C_3y+C_4|x| \\
& +C_5y^2+C_6y|x|+C_7x^2 \\
& +C_8y^3+C_9y^2|x|+C_{10}yx^2+C_{11}|x^3| \\
& +C_{12}y^4+C_{13}y^3|x|+C_{14}y^2x^2+C_{15}y|x^3|+C_{16}x^4 \\
& +C_{17}y^5+C_{18}y^4|x|+C_{19}y^3x^2+C_{20}y^2|x^3| \\
& \quad +C_{21}yx^4+C_{22}|x^5| \\
& +C_{23}y^6+C_{24}y^5|x|+C_{25}y^4x^2+C_{26}y^3|x^3| \\
& \quad +C_{27}y^2x^4+C_{28}y|x^5|+C_{29}x^6 \\
& +C_{30}y^7+C_{31}y^6|x|+C_{32}y^5x^2+C_{33}y^4|x^3| \\
& \quad +C_{34}y^3x^4+C_{35}y^2|x^5|+C_{36}yx^6+C_{37}|x^7| \\
& \cdots(c)
\end{aligned}$$

なお、本発明の実施例では、前記(a)式を用いた自由曲面で面形状が表現されているが、上記(b)式、(c)式を用いても同様の作用効果を得られるのは言うまでもない。

【0235】以下の実施例1から実施例11の全てにおいて、仕様は、水平画角 $30^\circ$ 、垂直画角 $22.7^\circ$ 、逆光線追跡における入射瞳径4mmである。そして、実施例1～10が虚像を形成するHMD用光学系、実施例11がプロジェクタ、レーザビームプリンタ、バーコードリーダ等の実像形成用光学系である。

【0236】(実施例1)この実施例は、HMD用光学系で、観察者眼球の1m先に映像表示素子24の虚像を形成するとき、映像信号に応じて映像表示光を強度変調する。そして、この映像表示光に同期して、スキャナのY方向の傾角を徐々に変化させながらX方向のスキャンを繰り返すことで、2次元の虚像を形成する。

【0237】図20は、この実施例の光学系を観察者の横から見た図(Y-Z平面図)である。瞳21に観察者眼球の瞳又は回旋中心を位置させて表示された映像を観察する。図1の配置の上下方向を逆方向に配置しても

【0233】 $Z = \sum \sum C_{mn}XY$

例として、 $k=7$ (7次項)を考えると、展開したとき、以下の式で表せる。

【0234】

よい。また、これを観察者の上側から見た図(X-Z平面図)となるように配置してもよい。これは以下の全ての実施例について言えるが、以下の実施例ではいちいち説明しない。また、以下の光路図では、全て分かりやすいように、スキャナ23の大きさを必要以上に大きく描いてある。

【0238】この実施例のアイリーフは31mmであり、映像表示素子24として、LED、LD等が使用できる。また、ポリゴンミラー、ガルバノミラー等を走査手段23として使用することができる。特開平10-20226号に開示されているようなフォトリソグラフィ工程を利用して製作したいわゆるマイクロマシンスキャナは、小型、低消費電力等の利点を持つので、HMD用としては最適である。この場合、往路だけの走査でも、往復走査でもどちらでもよい。

【0239】この実施例の光学系の構成は、1個の偏心プリズム30で投影光学系を構成している。この偏心プリズム30は第1面31から第5面35の5面からなり、逆光線追跡で、瞳21→第1透過面31(=第2反射面)→第1反射面32→第2反射面31(=第1透過

面)で全反射させ、プリズム30内に中間像を形成する。中間像からの光を、第3反射面33と第2透過面34で平行光に近づけ、スキャナ23に導く。スキャナ23の反射光をプリズム30に設けた第4反射面35で収束光として映像表示素子24に導く。

【0240】なお、第1反射面32とシースループリズム25との接合面にHM膜を形成し、シースループリズム25の瞳21とは反対側に液晶シャッター等の外界光の透過率を切り換える手段を配置すれば、スーパーインポーズ機能やシースルー機能が付加できる。ここで、シースループリズム25とは、投影光学系(プリズム)30とシースループリズムの合成パワーが外界光に対して略0となる光学素子のことである。

【0241】この実施例においては、スキャナ23と偏心プリズム30により形成される像の歪みを打ち消すような映像を映像表示素子24に表示して、2次元電気的像歪み補正を行う。

【0242】この実施例の変形として、図21に示すように、偏心プリズム30を第1プリズム30<sub>1</sub>と第2プリズム30<sub>2</sub>で構成してもよい。その場合には、逆光線追跡で、瞳21→第1透過面31(=第2反射面)→第1反射面32→第2反射面31(=第1透過面)で全反射させ、第3透過面36→第4透過面37を経て第2プリズム30<sub>2</sub>内に中間像を形成する。中間像からの光を、第3反射面33と第2透過面34で平行光に近づけ、スキャナ23に導く。スキャナ23の反射光を第2プリズム30<sub>2</sub>に設けた第4反射面35で収束光として映像表示素子24に導く。

【0243】なお、以上及び以下の全ての実施例は、分かりやすいように、視軸を水平方向に統一しているが、観察しやすいように視軸を下向き10°等に変更してもよい。

【0244】この実施例1の利点は、投影光学系30で4回反射、スキャナ23で1回反射の計5回反射しているので、折り畳みの効果で光学系的小型化ができてい。また、投影光学系30を反射作用を主体に構成しているので、色収差の発生が少ない。

【0245】また、逆光線追跡で、接眼光学系から中間像へ入射する主光線は、軸上主光線22に対して18.8°以下の収束光として入射している。そのため、接眼光学系から走査手段23までの光束の有効径が小さくでき、光学系が小型化できている。

【0246】また、プリズム部材1個で投影光学系が構成できているので、先行例に比べて大幅に部品点数を削減している。

【0247】また、走査手段23と映像表示素子24を投影光学系30の上に配置しているので、重量バランスが良い。

【0248】また、第2透過面34と第4反射面35は異なる光学作用を持つが、見かけ上連続性の良い面の構

成となっている。よって、プリズム部材30を成形で製作する際に、1つの型でこの2面に対応でき、製作性が良い構成となっている。

【0249】この実施例の映像表示に必要なX方向のミラー振れ角 $\phi_x = \pm 14.4^\circ$ 、Y方向のスキャナミラー23の振れ角 $\phi_y = \pm 7.68^\circ$ であり、よって、 $\phi_x / \theta_x = 14.4 / 15 = 0.96$ 、 $\phi_y / \theta_y = 7.68 / 11.36 = 0.68$ となる。

【0250】また、逆光線追跡で、スキャナ23の基準面に対する軸上主光線22の入射角 $\theta_s = 33.3^\circ$ 、第1透過面31への軸上主光線22の入射角 $\theta_1 = 0^\circ$ 、第1反射面32への軸上主光線22の入射角 $\theta_2 = 24.9^\circ$ である。

【0251】(実施例2)この実施例は、図22に示すように、逆光線追跡で、スキャナ23から映像表示素子24間の構成が実施例1とは異なる。

【0252】すなわち、この実施例の偏心プリズム30は第1面31から第4面34、第5面38、第6面39の6面からなり、逆光線追跡で、瞳21→プリズム30の第1透過面31(=第2反射面)→第1反射面32→第2反射面31(=第1透過面)で全反射させ、プリズム30内に中間像を形成する。中間像からの光を、第3反射面33と第2透過面34で平行光に近づけ、スキャナ23に導く。スキャナ23の反射光をプリズム30に設けた第3透過面38→第4透過面39を経てプリズム30を横断して収束光として映像表示素子24に導く。

【0253】この実施例の映像表示に必要なX方向のミラー振れ角 $\phi_x = \pm 8.30^\circ$ 、Y方向のミラー振れ角 $\phi_y = \pm 11.2^\circ$ であり、よって、 $\phi_x / \theta_x = 0.55$ 、 $\phi_y / \theta_y = 0.99$ となる。

【0254】また、逆光線追跡で、スキャナ23の基準面に対する軸上主光線22の入射角 $\theta_s = 29.6^\circ$ 、第1透過面31への軸上主光線22の入射角 $\theta_1 = 0^\circ$ 、第1反射面32への軸上主光線22の入射角 $\theta_2 = 28.5^\circ$ である。

【0255】(実施例3)この実施例は、図23に示すように、投影光学系を構成する1個の偏心プリズム30は第1面31から第3面33、第4面40、第5面41の5面からなり、逆光線追跡で、瞳21→プリズム30の第1透過面31(=第2反射面)→第1反射面32→第2反射面31(=第1透過面)で全反射させ、プリズム30内に中間像を形成し、中間像→第3反射面33で全反射→第4反射面40→第2透過面33(=第3反射面)を経てスキャナ23に導く。スキャナ23の反射光を第3透過面33(=第3反射面=第2透過面)→第5反射面41→第4透過面33(=第3透過面=第3反射面=第2透過面)を経てプリズム30を横断して収束光として映像表示素子24に導く。この場合、第2反射面31と第3反射面33は全反射である。

【0256】この実施例の構成においては、兼用面が2

箇所31、33あるので、構成する光学作用面が削減されている。この2面で6面の作用をしている。

【0257】また、接眼光学系とリレー光学系を対称な構成としているので、それぞれの発生収差がキャンセルされ、全体の収差が良好に補正されている。また、特に、ディストーションが良好に補正されている。2次元走査を行った場合、逆光線追跡で、映像表示素子24における各主光線の結像位置のずれは、X方向（主走査方向）、Y方向（副走査方向）共、 $5\mu\text{m}$ 以下である。これは、順光線追跡において、X方向（主走査方向）のディストーションが0.3%以下、Y方向（副走査方向）のディストーションが0.5%以下であることを意味する。その結果、電氣的像歪み補正なしに2次元的直線走査を行うことができる。

【0258】また、正弦波状に振動するミラー23の振幅の55%に対してfアーカサイン $\theta$ レンズ特性を持たせている。そのため、正弦波状に振動するスキャンミラー23を使用する場合、振幅の55%を使用すれば、電氣的像歪み補正なしに直線走査、等速走査を行うことができ、高速走査に対応できる。

【0259】この場合に、X方向のミラー振れ角 $\phi_x = \pm 13.4^\circ$ 、Y方向のミラー振れ角 $\phi_y = \pm 13.8^\circ$ の振幅の55%が映像表示に必要なX方向のミラー振れ角、 $\phi_x = \pm 7.36^\circ$ 、Y方向のミラー振れ角 $\phi_y = \pm 7.60^\circ$ となる。

【0260】また、等速走査性の補正を行えば、正弦波状に振動するミラー23の振幅全部を利用することもできるし、ミラー振れ角がリニアに変化するミラー23を利用することもできる。

【0261】また、以下の実施例でいくつか説明するように、X方向（主走査方向）、Y方向（副走査方向）共、ディストーション特性をf $\theta$ 特性に変更するのは可能である。

【0262】また、映像表示素子24の大きさが4~5 $\mu\text{m}$ 角の場合、順光線追跡で形成される像において、仮想的な画素が密着した状態に近くなる。そのため、映像が観察しやすい。

【0263】また、逆光線追跡で、スキャナ23の後をプリズム30への入射、プリズム30からの射出という構成にしており、映像表示素子光のビーム整形が可能である。したがって、LDのように楕円状の断面形状を持つ映像表示素子24を効率良く使用することができる。本実施例の場合、映像表示素子側のNA（開口数）は、 $\text{NA}_x = 0.32$ 、 $\text{NA}_y = 0.23$ で、横長断面を持つ映像表示素子光に対するビーム整形を行っている。

【0264】この実施例の映像表示に必要なX方向のミラー振れ角 $\phi_x = \pm 7.36^\circ$ 、Y方向のミラー振れ角 $\phi_y = \pm 7.60^\circ$ であり、よって、 $\phi_x / \theta_x = 0.49$ 、 $\phi_y / \theta_y = 0.67$ となる。

【0265】また、逆光線追跡で、スキャナ23の基準

面に対する軸上主光線22の入射角 $\theta_s = 18.7^\circ$ 、第1透過面31への軸上主光線22の入射角 $\theta_1 = 0^\circ$ 、第1反射面32への軸上主光線22の入射角 $\theta_2 = 23.4^\circ$ である。

【0266】（実施例4）この実施例は実施例3と同様であり、図24に示すように、逆光線追跡で、瞳21→プリズム30の第1透過面31（＝第2反射面）→第1反射面32→第2反射面31（＝第1透過面）で全反射させ、プリズム30内に中間像を形成し、中間像→第3反射面33で全反射→第4反射面40→第2透過面33（＝第3反射面）を経てスキャナ23に導く。スキャナ23の反射光を第3透過面33（＝第3反射面＝第2透過面）→第5反射面41→第4透過面33（＝第3透過面＝第3反射面＝第2透過面）を経てプリズム30を横断して収束光として映像表示素子24に導く。この場合、第2反射面31と第3反射面33は全反射である。

【0267】この実施例は、順光線追跡における瞳倍率を大きくすることで、実施例3の映像表示素子24から中間像までを小型化したものであり、スキャナ23の前方への突出量が減っている。

【0268】この実施例の映像表示に必要なX方向のミラー振れ角 $\phi_x = \pm 8.73^\circ$ 、Y方向のミラー振れ角 $\phi_y = \pm 9.83^\circ$ であり、よって、 $\phi_x / \theta_x = 0.58$ 、 $\phi_y / \theta_y = 0.87$ となる。

【0269】また、逆光線追跡で、スキャナ23の基準面に対する軸上主光線22の入射角 $\theta_s = 23.7^\circ$ 、第1透過面31への軸上主光線22の入射角 $\theta_1 = 0^\circ$ 、第1反射面32への軸上主光線22の入射角 $\theta_2 = 25.5^\circ$ である。

【0270】（実施例5）この実施例は実施例3の映像表示素子24直前の第4透過面を別の面42にした例であり、図25に示すように、投影光学系を構成する1個の偏心プリズム30は第1面31から第3面33、第4面40、第5面41、第6面42の6面からなり、逆光線追跡で、瞳21→プリズム30の第1透過面31（＝第2反射面）→第1反射面32→第2反射面31（＝第1透過面）で全反射させ、プリズム30内に中間像を形成し、中間像→第3反射面33で全反射→第4反射面40→第2透過面33（＝第3反射面）を経てスキャナ23に導く。スキャナ23の反射光を第3透過面33（＝第3反射面＝第2透過面）→第5反射面41→第4透過面42を経てプリズム30を横断して収束光として映像表示素子24に導く。この場合、第2反射面31と第3反射面33は全反射である。

【0271】この実施例において、2次元走査を行った場合、逆光線追跡で、映像表示素子24における各主光線の結像位置のずれは、X方向（主走査方向）、Y方向（副走査方向）共、 $3.3\mu\text{m}$ 以下であるので、2次元的に良好な直線走査性を持つ。

【0272】この実施例の映像表示に必要なX方向のミ

ラー振れ角 $\phi_x = \pm 7.73^\circ$ 、Y方向のミラー振れ角 $\phi_y = \pm 9.73^\circ$ であり、よって、 $\phi_x / \theta_x = 0.52$ 、 $\phi_y / \theta_y = 0.86$ となる。

【0273】また、逆光線追跡で、スキャナ23の基準面に対する軸上主光線22の入射角 $\theta_s = 20.0^\circ$ 、第1透過面31への軸上主光線22の入射角 $\theta_1 = 0.23^\circ$ 、第1反射面32への軸上主光線22の入射角 $\theta_2 = 23.7^\circ$ である。(実施例5-1)この実施例は実施例5と同様であり、図26に示すように、逆光線追跡で、瞳21→プリズム30の第1透過面31(=第2反射面)→第1反射面32→第2反射面31(=第1透過面)で全反射させ、プリズム30内に中間像を形成し、中間像→第3反射面33で全反射→第4反射面40→第2透過面33(=第3反射面)を経てスキャナ23に導く。スキャナ23の反射光を第3透過面33(=第3反射面=第2透過面)→第5反射面41→第4透過面42を経てプリズム30を横断して収束光として映像表示素子24に導く。

【0274】この実施例は、実施例5の映像表示素子24直前の第4透過面42を第1反射面32に近づけたものである。

【0275】この実施例の映像表示に必要なX方向のミラー振れ角 $\phi_x = \pm 7.83^\circ$ 、Y方向のミラー振れ角 $\phi_y = \pm 11.2^\circ$ であり、よって、 $\phi_x / \theta_x = 0.52$ 、 $\phi_y / \theta_y = 0.99$ となる。

【0276】また、逆光線追跡で、スキャナ23の基準面に対する軸上主光線22の入射角 $\theta_s = 21.2^\circ$ 、第1透過面31への軸上主光線22の入射角 $\theta_1 = 0.26^\circ$ 、第1反射面32への軸上主光線22の入射角 $\theta_2 = 22.8^\circ$ である。

【0277】(実施例6)この実施例は実施例5と同様の6面からなる偏心プリズム30の第2透過面33とスキャナ23の間にDOE44を追加した例であり、図27に示すように、逆光線追跡で、瞳21→プリズム30の第1透過面31(=第2反射面)→第1反射面32→第2反射面31(=第1透過面)で全反射→中間像→第3反射面33で全反射→第4反射面40→第2透過面33(=第3反射面)を経て、入射側に回折面43を設けたDOE44を介してスキャナ23に導く。スキャナ23の反射光をDOE44を逆に介して第3透過面33(=第3反射面=第2透過面)→第5反射面41→第4透過面42を経てプリズム30を横断して収束光として映像表示素子24に導く。このように、逆光線追跡で、スキャナ23へ入射するときとスキャナ23から反射するときの両方で、DOE44の作用を受けるようにしている。

【0278】図27に図示しているように、DOE44をスキャナ23の保護部材や密封部材として使用するなど、スキャナ23と一体化することができる。ここでは、DOEの回折面43を平行平面基板のプリズム30

側に配置したが、プリズム30とは反対側(スキャナ側)の基板面に配置すれば、回折面43を汚れから保護することができる。

【0279】この実施例では、簡単のためにDOE44は投影光学系30で発生する色収差を補正しているが、図4～図6等を用いて説明したように、DOEにより投影光学系全体の特定の色収差を発生させるようにしてもよい。これは、以下のDOEを使用したすべての実施例でも同様である。

【0280】この実施例においては、2次元走査を行った場合、逆光線追跡で、映像表示素子24における各主光線の結像位置のずれは、X方向(主走査方向)、Y方向(副走査方向)共、 $1.6\mu\text{m}$ 以下であるので、2次元的に良好な直線走査性を持っている。また、逆光線追跡における射出瞳(スキャナ)位置での瞳収差は、 $0.15\text{mm}$ 以下と良好である。

【0281】この実施例の映像表示に必要なX方向のミラー振れ角 $\phi_x = \pm 6.25^\circ$ 、Y方向のミラー振れ角 $\phi_y = \pm 12.4^\circ$ であり、よって、 $\phi_x / \theta_x = 0.42$ 、 $\phi_y / \theta_y = 1.09$ となる。

【0282】また、逆光線追跡で、スキャナ23の基準面に対する軸上主光線22の入射角 $\theta_s = 19.5^\circ$ 、第1透過面31への軸上主光線22の入射角 $\theta_1 = 0.06^\circ$ 、第1反射面32への軸上主光線22の入射角 $\theta_2 = 23.6^\circ$ である。

【0283】(実施例7)この実施例は、図28に示すように、実施例5、実施例5-1と同様の6面からなる偏心プリズム30の第4透過面42に透過型のDOEの回折面43を設けた例である。すなわち、逆光線追跡で、瞳21→プリズム30の第1透過面31(=第2反射面)→第1反射面32→第2反射面31(=第1透過面)で全反射させ、プリズム30内に中間像を形成し、中間像→第3反射面33で全反射→第4反射面40→第2透過面33(=第3反射面)を経てスキャナ23に導く。スキャナ23の反射光を第3透過面33(=第3反射面=第2透過面)→第5反射面41で反射させ、第4透過面42の回折面43を経てプリズム30を横断して収束光として映像表示素子24に導く。

【0284】この実施例の映像表示に必要なX方向のミラー振れ角 $\phi_x = \pm 7.63^\circ$ 、Y方向のミラー振れ角 $\phi_y = \pm 9.72^\circ$ であり、よって、 $\phi_x / \theta_x = 0.51$ 、 $\phi_y / \theta_y = 0.86$ となる。

【0285】また、逆光線追跡で、スキャナ23の基準面に対する軸上主光線22の入射角 $\theta_s = 20.6^\circ$ 、第1透過面31への軸上主光線22の入射角 $\theta_1 = 0^\circ$ 、第1反射面32への軸上主光線22の入射角 $\theta_2 = 23.6^\circ$ である。

【0286】(実施例8)この実施例は、図29に示すように、実施例5、実施例5-1と同様の6面からなる偏心プリズム30の第5反射面41に反射型のDOEの

回折面45を設けた例である。すなわち、逆光線追跡で、瞳21→プリズム30の第1透過面31(=第2反射面)→第1反射面32→第2反射面31(=第1透過面)で全反射させ、プリズム30内に中間像を形成し、中間像→第3反射面33で全反射→第4反射面40→第2透過面33(=第3反射面)を経てスキャナ23に導く。スキャナ23の反射光を第3透過面33(=第3反射面=第2透過面)でプリズム30内に導入し、第5反射面41の回折面45で回折反射させ、第4透過面42を経てプリズム30を横断して収束光として映像表示素子24に導く。

【0287】この実施例においては、図15(a)の構成で、法線から離れると強度が弱くなる映像表示素子24の配光特性の補正を行っている。

【0288】この実施例の映像表示に必要なX方向のミラー振れ角 $\phi_x = \pm 8.50^\circ$ 、Y方向のミラー振れ角 $\phi_y = \pm 13.3^\circ$ であり、よって、 $\phi_x / \theta_x = 0.57$ 、 $\phi_y / \theta_y = 1.17$ となる。

【0289】また、逆光線追跡で、スキャナ23の基準面に対する軸上主光線22の入射角 $\theta_s = 21.1^\circ$ 、第1透過面31への軸上主光線22の入射角 $\theta_1 = 0^\circ$ 、第1反射面32への軸上主光線22の入射角 $\theta_2 = 22.9^\circ$ である。

【0290】(実施例9)この実施例は、図30に示すように、実施例5、実施例5-1と同様の偏心プリズム30を第1プリズム30<sub>1</sub>と第2プリズム30<sub>2</sub>に分割した例であり、第1プリズム30<sub>1</sub>は第1面31、第2面32、第3面46の3面からなり、第2プリズム30<sub>2</sub>は第1面47、第2面48、第3面49、第4面50、第5面51の5面からなり、逆光線追跡で、瞳21→第1透過面31(=第2反射面)→第1反射面32→第2反射面31(=第1透過面)で全反射させ、第2透過面46→第3透過面47を経て第2プリズム30<sub>2</sub>中に中間像を形成し、中間像→第3反射面48で全反射→第4反射面49→第4透過面48(=第3反射面)を経てスキャナ23に導く。スキャナ23の反射光を第5透過面48(=第3反射面=第4透過面)→第5反射面50で反射させ、第6透過面51を経て第2プリズム30<sub>2</sub>を横断して収束光として映像表示素子24に導く。

【0291】この実施例においては、2次元走査を行った場合、逆光線追跡で、映像表示素子24における各主光線の結像位置のずれは、X方向(主走査方向)、Y方向(副走査方向)共、3 $\mu$ m以下であるので、2次元的に良好な直線走査性を持つ。したがって、電氣的像歪み補正なしに2次元直線走査を行うことができる。

【0292】また、主走査方向(X方向)は、正弦波状に振動するミラー振れ角の振幅の約90%に対してf $\theta$ アーカイブ特性を持たせている。また、副走査方向(Y方向)は、f $\theta$ レンズ特性を持たせている。よって、副走査方向(Y方向)より高周波数が必要な主走

査方向(X方向)は正弦波状に振動し、低周波数の副走査方向(Y方向)はスキャンミラー振れ角がリニアに変化するスキャンミラーを使用する場合、X方向の正弦波状に振動するミラー振れ角の振幅の90%を使用すれば、電氣的像歪み補正なしに2次元直線走査、等速走査を行うことができる。そのため、高速走査に対応できる。なお、X方向のミラー振れ角 $\phi_x = \pm 19.1^\circ$ のスキャナ23の振幅の90%( $\phi_x = \pm 17.2^\circ$ )を映像表示に利用する。このように、X方向の振幅の約90%が利用できるため、非常に効率が良い。

【0293】なお、等速走査性の補正を行えば、正弦波状に振動するミラーの振幅全部を利用することもできるし、ミラー振れ角がリニアに変化するミラーを利用することもできる。

【0294】この実施例においては、図15(a)の構成で、法線から離れると強度が弱くなる映像表示素子24の配光特性の補正を行っている。

【0295】この実施例の映像表示に必要なX方向のミラー振れ角 $\phi_x = \pm 17.2^\circ$ 、Y方向のミラー振れ角 $\phi_y = \pm 7.98^\circ$ であり、よって、 $\phi_x / \theta_x = 1.15$ 、 $\phi_y / \theta_y = 0.70$ となる。

【0296】また、逆光線追跡で、スキャナ23の基準面に対する軸上主光線22の入射角 $\theta_s = 18.4^\circ$ 、第1透過面31への軸上主光線22の入射角 $\theta_1 = 0^\circ$ 、第1反射面32への軸上主光線22の入射角 $\theta_2 = 25.8^\circ$ である。

【0297】(実施例10)この実施例は実施例9と同様の構成で、実施例9の副走査方向(Y方向)のデフレーション特性を変えた例であり、図31に示すように、逆光線追跡で、瞳21→第1透過面31(=第2反射面)→第1反射面32→第2反射面31(=第1透過面)で全反射させ、第2透過面46→第3透過面47を経て第2プリズム30<sub>2</sub>中に中間像を形成し、中間像→第3反射面48で全反射→第4反射面49→第4透過面48(=第3反射面)を経てスキャナ23に導く。スキャナ23の反射光を第5透過面48(=第3反射面=第4透過面)→第5反射面50で反射させ、第6透過面51を経て第2プリズム30<sub>2</sub>を横断して収束光として映像表示素子24に導く。

【0298】この実施例においては、主走査方向(X方向)、副走査方向(Y方向)共に、正弦波状に振動するミラー振れ角の振幅の約80%に対してf $\theta$ アーカイブ特性を持たせている。したがって、高速走査するために、主走査方向(X方向)、副走査方向(Y方向)共に正弦波状に振動するスキャンミラーを使用する場合でも、正弦波状に振動するミラー振れ角の振幅の約80%を使用すれば、電氣的像歪み補正なしに2次元直線走査、等速走査を行うことができる。そのため、高速走査に対応できる。なお、X方向のミラー振れ角 $\phi_x = \pm 18.1^\circ$ 、Y方向のミラー振れ角 $\phi_y = \pm 1$

4.3°、のスキヤナの振幅の80% ( $\phi x = \pm 14.5^\circ$ 、 $\phi y = \pm 11.4^\circ$ ) を映像表示に利用する。

【0299】また、等速走査性の補正を行えば、正弦波状に振動するミラーの振幅全部を利用することもできるし、ミラー振れ角がリニアに変化するミラーを利用することもできる。

【0300】この実施例の映像表示に必要なX方向のミラー振れ角 $\phi x = \pm 14.5^\circ$ 、Y方向のミラー振れ角 $\phi y = \pm 11.4^\circ$ であり、よって、 $\phi x / \theta x = 0.97$ 、 $\phi y / \theta y = 1.00$ となる。

【0301】また、逆光線追跡で、スキヤナ23の基準面に対する軸上主光線22の入射角 $\theta s = 17.6^\circ$ 、第1透過面31への軸上主光線22の入射角 $\theta 1 = 0^\circ$ 、第1反射面32への軸上主光線22の入射角 $\theta 2 = 25.7^\circ$ である。

【0302】(実施例11) この実施例は、前記のように、プロジェクタ、レーザビームプリンタ、バーコードリーダ等の実像形成用光学系であり、図32に示すように、投影光学系を構成する1個の偏心プリズム30は第1面31から第3面33、第4面40、第5面41、第6面42の6面からなり、逆光線追跡で、瞳21→プリズム30の第1透過面31(=第2反射面)→第1反射面32→第2反射面31(=第1透過面)で全反射させ、プリズム30内に中間像を形成し、第3反射面33で全反射→第4反射面40→第2透過面33(=第3反射面)を経てスキヤナ23に導く。スキヤナ23の反射光を第3透過面33(=第3反射面=第2透過面)→第5反射面41→第4透過面42を経てプリズム30を横

断して収束光として映像表示素子24に導く。

【0303】この実施例においては、瞳1から1mの位置に実像を形成している。なお、瞳1とプリズム30の間隔=3.6mmである。

【0304】映像表示素子としてLCDを用いたプロジェクタは、偏光フィルタとカラーフィルタを使用するので、光源光の利用率が悪い。本発明の光学系の場合は、光源光の利用効率が大きく向上する。

【0305】なお、画角、Fナンバー、映像表示素子光の結像位置を変更し、レーザビームプリンタ用、バーコードリーダ用等、他の用途の光学系として利用することもできる。レーザビームプリンタ用等は画角が大きくなるので、fアークサイン $\theta$ レンズとするためのディストーションの制御量が減りfアークサイン $\theta$ レンズの設計がしやすくなる。

【0306】この実施例の映像表示に必要なX方向のミラー振れ角 $\phi x = \pm 18.2^\circ$ 、Y方向のミラー振れ角 $\phi y = \phi y = \pm 10.3^\circ$ であり、よって、 $\phi x / \theta x = 1.21$ 、 $\phi y / \theta y = 0.91$ となる。

【0307】また、逆光線追跡で、スキヤナ23の基準面に対する軸上主光線22の入射角 $\theta s = 22.1^\circ$ 、第1透過面31への軸上主光線22の入射角 $\theta 1 = 0.81^\circ$ 、第1反射面32への軸上主光線22の入射角 $\theta 2 = 20.8^\circ$ である。

【0308】以下に上記実施例1～11の構成パラメータを示す。これら表中の“FFS”は自由曲面、“RS”は反射面、“SM”はスキャンミラー、“ID”は映像表示素子、“DOE”は回折面を示す。

#### 実施例1

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッペ数
物体面	$\infty$	-1000.00			
1	$\infty$ (絞り面)				
2	FFS①		偏心(1)	1.5254	56.3
3	FFS② (RS)		偏心(2)	1.5254	56.3
4	FFS① (RS)		偏心(1)	1.5254	56.3
5	FFS③ (RS)		偏心(3)	1.5254	56.3
6	FFS④		偏心(4)		
7	$\infty$ (SM)		偏心(5)		
8	FFS⑤ (RS)		偏心(6)		
像面	$\infty$ (ID)		偏心(7)		
FFS①					
C <sub>4</sub>	$-2.1126 \times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	$-7.2034 \times 10^{-3}$	C <sub>8</sub>	$-7.8311 \times 10^{-5}$
C <sub>10</sub>	$-2.3027 \times 10^{-4}$	C <sub>11</sub>	$-5.5654 \times 10^{-6}$	C <sub>13</sub>	$2.1696 \times 10^{-5}$
C <sub>15</sub>	$-6.0612 \times 10^{-6}$				
FFS②					
C <sub>4</sub>	$-1.9906 \times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	$-1.6776 \times 10^{-2}$	C <sub>8</sub>	$7.1378 \times 10^{-5}$
C <sub>10</sub>	$-3.3046 \times 10^{-5}$	C <sub>11</sub>	$-6.0814 \times 10^{-6}$	C <sub>13</sub>	$-1.4231 \times 10^{-5}$
C <sub>15</sub>	$-5.9803 \times 10^{-6}$				
FFS③					
C <sub>4</sub>	$-1.2145 \times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	$-4.9227 \times 10^{-2}$	C <sub>8</sub>	$-4.2174 \times 10^{-4}$

$$\begin{array}{lll} C_{10} & 4.0740 \times 10^{-3} & C_{11} \quad -1.5006 \times 10^{-4} \quad C_{13} \quad 9.1962 \times 10^{-5} \\ C_{15} & -1.4704 \times 10^{-4} & \end{array}$$

F F S ④

$$\begin{array}{lll} C_4 & -2.5516 \times 10^{-2} & C_6 \quad -3.5054 \times 10^{-2} \quad C_8 \quad 3.1810 \times 10^{-3} \\ C_{10} & 4.1111 \times 10^{-3} & C_{11} \quad 6.9101 \times 10^{-4} \quad C_{13} \quad 3.0619 \times 10^{-4} \\ C_{15} & 1.7857 \times 10^{-4} & \end{array}$$

F F S ⑤

$$\begin{array}{lll} C_4 & -9.1735 \times 10^{-2} & C_6 \quad -8.6915 \times 10^{-2} \quad C_8 \quad 2.6427 \times 10^{-3} \\ C_{10} & 2.3546 \times 10^{-3} & C_{11} \quad -4.5442 \times 10^{-4} \quad C_{13} \quad -7.6716 \times 10^{-4} \\ C_{15} & -2.7452 \times 10^{-4} & \end{array}$$

偏心(1)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & 2.40 & Z & 31.10 \\ \alpha & 1.77 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(2)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & 0.00 & Z & 37.10 \\ \alpha & -24.86 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(3)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & 15.12 & Z & 39.80 \\ \alpha & 8.04 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(4)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & 21.90 & Z & 33.52 \\ \alpha & -33.65 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(5)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & 23.34 & Z & 29.05 \\ \alpha & -40.98 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(6)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & 17.27 & Z & 29.13 \\ \alpha & -66.19 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(7)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & 19.96 & Z & 27.10 \\ \alpha & -28.25 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

【0309】

実施例2

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	$\infty$	-1000.00			
1	$\infty$ (絞り面)				
2	F F S ①		偏心(1)	1.5254	56.3
3	F F S ② (R S)		偏心(2)	1.5254	56.3
4	F F S ① (R S)		偏心(1)	1.5254	56.3
5	F F S ③ (R S)		偏心(3)	1.5254	56.3
6	F F S ④		偏心(4)		
7	$\infty$ (S M)		偏心(5)		
8	F F S ⑤		偏心(6)	1.5254	56.3
9	F F S ⑥		偏心(7)		
像 面	$\infty$ (I D)		偏心(8)		
	F F S ①				
C <sub>4</sub>	$-1.3579 \times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	$-3.1571 \times 10^{-3}$	C <sub>8</sub>	$-5.0635 \times 10^{-4}$
C <sub>10</sub>	$-8.3024 \times 10^{-5}$	C <sub>11</sub>	$7.7784 \times 10^{-7}$	C <sub>13</sub>	$-1.0774 \times 10^{-5}$
C <sub>15</sub>	$-1.2027 \times 10^{-7}$				
	F F S ②				



$C_4$	$-1.8937 \times 10^{-2}$	$C_6$	$-1.2561 \times 10^{-2}$	$C_8$	$-6.0548 \times 10^{-5}$
$C_{10}$	$-5.1296 \times 10^{-7}$	$C_{11}$	$-7.2995 \times 10^{-6}$	$C_{13}$	$-7.0042 \times 10^{-6}$
$C_{15}$	$-3.5458 \times 10^{-6}$				

## F F S ㊸

$C_4$	$5.1044 \times 10^{-3}$	$C_6$	$-5.3345 \times 10^{-2}$	$C_8$	$-1.1854 \times 10^{-3}$
$C_{10}$	$3.5960 \times 10^{-3}$	$C_{11}$	$-1.7856 \times 10^{-4}$	$C_{13}$	$2.1583 \times 10^{-4}$
$C_{15}$	$-1.2157 \times 10^{-4}$				

## F F S ㊹

$C_4$	$-1.2844 \times 10^{-2}$	$C_6$	$-6.6328 \times 10^{-2}$	$C_8$	$-2.8328 \times 10^{-3}$
$C_{10}$	$3.0549 \times 10^{-3}$	$C_{11}$	$7.5897 \times 10^{-5}$	$C_{13}$	$2.9999 \times 10^{-3}$
$C_{15}$	$2.1714 \times 10^{-4}$				

## F F S ㊺

$C_4$	$1.1940 \times 10^{-1}$	$C_6$	$9.0199 \times 10^{-2}$	$C_8$	$1.3028 \times 10^{-2}$
$C_{10}$	$8.2719 \times 10^{-3}$	$C_{11}$	$-3.9079 \times 10^{-5}$	$C_{13}$	$9.7178 \times 10^{-4}$
$C_{15}$	$6.8712 \times 10^{-4}$				

## F F S ㊻

$C_4$	$-1.2273 \times 10^{-1}$	$C_6$	$-1.5442 \times 10^{-1}$	$C_8$	$2.5053 \times 10^{-2}$
$C_{10}$	$1.1301 \times 10^{-2}$	$C_{11}$	$5.7627 \times 10^{-3}$	$C_{13}$	$1.8164 \times 10^{-2}$
$C_{15}$	$1.8282 \times 10^{-2}$				

## 偏心(1)

X	0.00	Y	0.63	Z	31.00
$\alpha$	0.22	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

## 偏心(2)

X	0.00	Y	0.00	Z	37.00
$\alpha$	-28.50	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

## 偏心(3)

X	0.00	Y	15.97	Z	39.26
$\alpha$	4.21	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

## 偏心(4)

X	0.00	Y	22.79	Z	30.51
$\alpha$	-45.61	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

## 偏心(5)

X	0.00	Y	25.00	Z	29.00
$\alpha$	-33.49	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

## 偏心(6)

X	0.00	Y	21.89	Z	30.50
$\alpha$	-25.12	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

## 偏心(7)

X	0.00	Y	12.48	Z	39.36
$\alpha$	-45.12	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

## 偏心(8)

X	0.00	Y	10.00	Z	41.00
$\alpha$	-46.89	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

【0310】

## 実施例3

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	$\infty$	-1000.00			
1	$\infty$ (絞り面)				
2	F F S ㊸		偏心(1)	1.5254	56.3
3	F F S ㊹ (R S)		偏心(2)	1.5254	56.3

4	FFS① (RS)		偏心(1)		1.5254	56.3
5	FFS③ (RS)		偏心(3)		1.5254	56.3
6	FFS④ (RS)		偏心(4)		1.5254	56.3
7	FFS③		偏心(3)			
8	$\infty$ (SM)		偏心(5)			
9	FFS③		偏心(3)		1.5254	56.3
10	FFS⑤ (RS)		偏心(6)		1.5254	56.3
11	FFS③		偏心(3)			
像 面	$\infty$ (ID)		偏心(7)			
FFS①						
C <sub>4</sub>	$-1.1100 \times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	$-3.8864 \times 10^{-3}$	C <sub>8</sub>	$-1.5797 \times 10^{-4}$	
C <sub>10</sub>	$-1.2373 \times 10^{-4}$	C <sub>11</sub>	$4.5846 \times 10^{-6}$	C <sub>13</sub>	$-1.5933 \times 10^{-6}$	
C <sub>15</sub>	$2.7667 \times 10^{-6}$					
FFS②						
C <sub>4</sub>	$-1.5775 \times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	$-1.2286 \times 10^{-2}$	C <sub>8</sub>	$2.5258 \times 10^{-7}$	
C <sub>10</sub>	$1.0437 \times 10^{-5}$	C <sub>11</sub>	$-4.4380 \times 10^{-6}$	C <sub>13</sub>	$-6.7785 \times 10^{-6}$	
C <sub>15</sub>	$-3.0063 \times 10^{-6}$					
FFS③						
C <sub>4</sub>	$4.6010 \times 10^{-3}$	C <sub>6</sub>	$-2.6768 \times 10^{-4}$	C <sub>8</sub>	$4.0840 \times 10^{-4}$	
C <sub>10</sub>	$2.0018 \times 10^{-4}$	C <sub>11</sub>	$-6.3488 \times 10^{-6}$	C <sub>13</sub>	$2.3967 \times 10^{-5}$	
C <sub>15</sub>	$3.3745 \times 10^{-6}$					
FFS④						
C <sub>4</sub>	$8.1938 \times 10^{-3}$	C <sub>6</sub>	$1.0924 \times 10^{-2}$	C <sub>8</sub>	$3.5222 \times 10^{-4}$	
C <sub>10</sub>	$3.1540 \times 10^{-4}$	C <sub>11</sub>	$-1.1944 \times 10^{-5}$	C <sub>13</sub>	$3.5106 \times 10^{-5}$	
C <sub>15</sub>	$4.9218 \times 10^{-6}$					
FFS⑤						
C <sub>4</sub>	$2.1481 \times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	$1.1120 \times 10^{-2}$	C <sub>8</sub>	$-5.4698 \times 10^{-4}$	
C <sub>10</sub>	$-8.7840 \times 10^{-4}$	C <sub>11</sub>	$2.8356 \times 10^{-7}$	C <sub>13</sub>	$-1.3212 \times 10^{-5}$	
C <sub>15</sub>	$-2.2079 \times 10^{-5}$					
偏心(1)						
X	0.00	Y	-1.64	Z	31.00	
$\alpha$	-0.79	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00	
偏心(2)						
X	0.00	Y	0.00	Z	38.00	
$\alpha$	-23.43	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00	
偏心(3)						
X	0.00	Y	18.00	Z	40.50	
$\alpha$	7.54	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00	
偏心(4)						
X	0.00	Y	29.00	Z	31.00	
$\alpha$	-24.42	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00	
偏心(5)						
X	0.00	Y	26.94	Z	45.00	
$\alpha$	3.76	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00	
偏心(6)						
X	0.00	Y	24.61	Z	29.50	
$\alpha$	-7.00	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00	
偏心(7)						
X	0.00	Y	16.12	Z	42.15	
$\alpha$	-38.43	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00	

【0311】

## 実施例4

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	$\infty$	-1000.00			
1	$\infty$ (絞リ面)				
2	FFS①		偏心(1)	1.5254	56.3
3	FFS② (RS)		偏心(2)	1.5254	56.3
4	FFS① (RS)		偏心(1)	1.5254	56.3
5	FFS③ (RS)		偏心(3)	1.5254	56.3
6	FFS④ (RS)		偏心(4)	1.5254	56.3
7	FFS③		偏心(3)		
8	$\infty$ (SM)		偏心(5)		
9	FFS③		偏心(3)	1.5254	56.3
10	FFS⑤ (RS)		偏心(6)	1.5254	56.3
11	FFS③		偏心(3)		
像 面	$\infty$ (ID)		偏心(7)		
FFS①					
C <sub>4</sub>	$-1.8002 \times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	$-1.7832 \times 10^{-3}$	C <sub>8</sub>	$-3.0941 \times 10^{-4}$
C <sub>10</sub>	$-6.6342 \times 10^{-5}$	C <sub>11</sub>	$7.8207 \times 10^{-8}$	C <sub>13</sub>	$-5.5137 \times 10^{-6}$
C <sub>15</sub>	$-1.3006 \times 10^{-7}$				
FFS②					
C <sub>4</sub>	$-1.8849 \times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	$-1.1659 \times 10^{-2}$	C <sub>8</sub>	$6.6100 \times 10^{-6}$
C <sub>10</sub>	$-3.1029 \times 10^{-5}$	C <sub>11</sub>	$-7.1532 \times 10^{-6}$	C <sub>13</sub>	$-9.5289 \times 10^{-6}$
C <sub>15</sub>	$-3.2128 \times 10^{-6}$				
FFS③					
C <sub>4</sub>	$7.2927 \times 10^{-3}$	C <sub>6</sub>	$1.5226 \times 10^{-2}$	C <sub>8</sub>	$1.4933 \times 10^{-3}$
C <sub>10</sub>	$6.0045 \times 10^{-4}$	C <sub>11</sub>	$2.4241 \times 10^{-5}$	C <sub>13</sub>	$4.8430 \times 10^{-5}$
C <sub>15</sub>	$2.4129 \times 10^{-6}$				
FFS④					
C <sub>4</sub>	$8.2001 \times 10^{-3}$	C <sub>6</sub>	$2.4837 \times 10^{-2}$	C <sub>8</sub>	$9.6197 \times 10^{-4}$
C <sub>10</sub>	$7.7845 \times 10^{-4}$	C <sub>11</sub>	$-2.9820 \times 10^{-5}$	C <sub>13</sub>	$6.9481 \times 10^{-5}$
C <sub>15</sub>	$1.3991 \times 10^{-5}$				
FFS⑤					
C <sub>4</sub>	$2.7730 \times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	$9.7218 \times 10^{-3}$	C <sub>8</sub>	$-1.1187 \times 10^{-3}$
C <sub>10</sub>	$-2.0503 \times 10^{-3}$	C <sub>11</sub>	$3.6153 \times 10^{-6}$	C <sub>13</sub>	$-4.6272 \times 10^{-5}$
C <sub>15</sub>	$-6.9516 \times 10^{-5}$				
偏心(1)					
X	0.00	Y	-2.13	Z	31.00
$\alpha$	-0.49	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(2)					
X	0.00	Y	0.00	Z	38.00
$\alpha$	-25.50	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(3)					
X	0.00	Y	25.92	Z	38.10
$\alpha$	0.71	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(4)					
X	0.00	Y	28.75	Z	33.80
$\alpha$	-34.71	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(5)					
X	0.00	Y	24.01	Z	41.37

$\alpha$  2.19  $\beta$  0.00  $\gamma$  0.00

偏心(6)

X 0.00 Y 22.74 Z 30.30

 $\alpha$  -6.69  $\beta$  0.00  $\gamma$  0.00

偏心(7)

X 0.00 Y 15.87 Z 39.88

 $\alpha$  -37.95  $\beta$  0.00  $\gamma$  0.00

【0312】

## 実施例5

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	$\infty$	-1000.00			
1	$\infty$ (絞り面)				
2	FFS①		偏心(1)	1.5254	56.3
3	FFS②(RS)		偏心(2)	1.5254	56.3
4	FFS①(RS)		偏心(1)	1.5254	56.3
5	FFS③(RS)		偏心(3)	1.5254	56.3
6	FFS④(RS)		偏心(4)	1.5254	56.3
7	FFS③		偏心(3)		
8	$\infty$ (SM)		偏心(5)		
9	FFS③		偏心(3)	1.5254	56.3
10	FFS⑤(RS)		偏心(6)	1.5254	56.3
11	FFS⑥		偏心(7)		
像面	$\infty$ (ID)		偏心(8)		
FFS①					
C <sub>4</sub>	$-1.6701 \times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	$-2.5745 \times 10^{-3}$	C <sub>8</sub>	$-2.1572 \times 10^{-4}$
C <sub>10</sub>	$-1.2450 \times 10^{-4}$	C <sub>11</sub>	$2.5032 \times 10^{-5}$	C <sub>13</sub>	$-8.8565 \times 10^{-6}$
C <sub>15</sub>	$-9.2971 \times 10^{-6}$	C <sub>17</sub>	$1.5838 \times 10^{-7}$	C <sub>19</sub>	$-1.4094 \times 10^{-6}$
C <sub>21</sub>	$4.8060 \times 10^{-7}$				
FFS②					
C <sub>4</sub>	$-1.8502 \times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	$-1.2746 \times 10^{-2}$	C <sub>8</sub>	$-2.8284 \times 10^{-5}$
C <sub>10</sub>	$-4.0666 \times 10^{-6}$	C <sub>11</sub>	$-2.5159 \times 10^{-6}$	C <sub>13</sub>	$-1.1933 \times 10^{-5}$
C <sub>15</sub>	$-2.3114 \times 10^{-6}$	C <sub>17</sub>	$-3.8179 \times 10^{-7}$	C <sub>19</sub>	$-1.8663 \times 10^{-8}$
C <sub>21</sub>	$4.5676 \times 10^{-8}$				
FFS③					
C <sub>4</sub>	$-4.0666 \times 10^{-3}$	C <sub>6</sub>	$9.8059 \times 10^{-3}$	C <sub>8</sub>	$-1.2188 \times 10^{-3}$
C <sub>10</sub>	$5.0299 \times 10^{-4}$	C <sub>11</sub>	$4.3746 \times 10^{-5}$	C <sub>13</sub>	$-1.8800 \times 10^{-4}$
C <sub>15</sub>	$1.7835 \times 10^{-6}$	C <sub>17</sub>	$6.5661 \times 10^{-6}$	C <sub>19</sub>	$-8.2953 \times 10^{-6}$
C <sub>21</sub>	$-2.5587 \times 10^{-7}$				
FFS④					
C <sub>4</sub>	$9.1707 \times 10^{-5}$	C <sub>6</sub>	$2.0196 \times 10^{-2}$	C <sub>8</sub>	$-5.5255 \times 10^{-4}$
C <sub>10</sub>	$5.7013 \times 10^{-4}$	C <sub>11</sub>	$9.7751 \times 10^{-6}$	C <sub>13</sub>	$-9.8614 \times 10^{-5}$
C <sub>15</sub>	$2.9086 \times 10^{-5}$	C <sub>17</sub>	$2.8010 \times 10^{-6}$	C <sub>19</sub>	$-7.4783 \times 10^{-6}$
C <sub>21</sub>	$2.7315 \times 10^{-6}$				
FFS⑤					
C <sub>4</sub>	$2.3855 \times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	$1.0346 \times 10^{-2}$	C <sub>8</sub>	$-9.3013 \times 10^{-4}$
C <sub>10</sub>	$-1.6384 \times 10^{-3}$	C <sub>11</sub>	$-2.1081 \times 10^{-5}$	C <sub>13</sub>	$-9.2856 \times 10^{-5}$
C <sub>15</sub>	$-1.0947 \times 10^{-4}$	C <sub>17</sub>	$-1.0196 \times 10^{-6}$	C <sub>19</sub>	$3.4639 \times 10^{-6}$
C <sub>21</sub>	$2.1677 \times 10^{-6}$				
FFS⑥					
C <sub>4</sub>	$-2.0337 \times 10^{-1}$	C <sub>6</sub>	$-2.9631 \times 10^{-1}$	C <sub>8</sub>	$1.2756 \times 10^{-1}$

$$C_{10} \quad 2.4115 \times 10^{-1} \quad C_{11} \quad 5.2315 \times 10^{-2} \quad C_{13} \quad 1.5920 \times 10^{-1}$$

$$C_{15} \quad 1.3412 \times 10^{-1}$$

偏心(1)

$$\begin{array}{lllll} X & 0.00 & Y & -1.83 & Z & 31.00 \\ \alpha & -0.39 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(2)

$$\begin{array}{lllll} X & 0.00 & Y & 0.00 & Z & 38.00 \\ \alpha & -23.67 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(3)

$$\begin{array}{lllll} X & 0.00 & Y & 25.88 & Z & 38.10 \\ \alpha & 5.37 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(4)

$$\begin{array}{lllll} X & 0.00 & Y & 29.00 & Z & 32.80 \\ \alpha & -28.36 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(5)

$$\begin{array}{lllll} X & 0.00 & Y & 25.24 & Z & 41.94 \\ \alpha & 7.26 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(6)

$$\begin{array}{lllll} X & 0.00 & Y & 22.34 & Z & 29.80 \\ \alpha & -11.04 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(7)

$$\begin{array}{lllll} X & 0.00 & Y & 13.64 & Z & 39.47 \\ \alpha & -19.15 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(8)

$$\begin{array}{lllll} X & 0.00 & Y & 12.61 & Z & 40.29 \\ \alpha & -33.46 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

【0313】

実施例5-1

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	$\infty$	-1000.00			
1	$\infty$ (絞り面)				
2	FFS①		偏心(1)	1.5254	56.3
3	FFS② (RS)		偏心(2)	1.5254	56.3
4	FFS① (RS)		偏心(1)	1.5254	56.3
5	FFS③ (RS)		偏心(3)	1.5254	56.3
6	FFS④ (RS)		偏心(4)	1.5254	56.3
7	FFS③		偏心(3)		
8	$\infty$ (SM)		偏心(5)		
9	FFS③		偏心(3)	1.5254	56.3
10	FFS⑤ (RS)		偏心(6)	1.5254	56.3
11	FFS⑥		偏心(7)		
像面	$\infty$ (ID)		偏心(8)		
FFS①					
$C_4$	$-1.5209 \times 10^{-2}$	$C_6$	$-4.5823 \times 10^{-3}$	$C_8$	$-3.3035 \times 10^{-4}$
$C_{10}$	$-1.2885 \times 10^{-4}$	$C_{11}$	$2.1707 \times 10^{-5}$	$C_{13}$	$-9.6958 \times 10^{-6}$
$C_{15}$	$-4.7593 \times 10^{-6}$	$C_{17}$	$1.8883 \times 10^{-7}$	$C_{19}$	$-1.3314 \times 10^{-6}$
$C_{21}$	$3.9768 \times 10^{-7}$				
FFS②					
$C_4$	$-1.8585 \times 10^{-2}$	$C_6$	$-1.2750 \times 10^{-2}$	$C_8$	$-5.7206 \times 10^{-5}$
$C_{10}$	$3.5084 \times 10^{-5}$	$C_{11}$	$-3.3153 \times 10^{-6}$	$C_{13}$	$-9.7509 \times 10^{-6}$

$C_{15}$	$-2.1876 \times 10^{-6}$	$C_{17}$	$-3.9162 \times 10^{-7}$	$C_{19}$	$3.5779 \times 10^{-9}$
$C_{21}$	$1.4927 \times 10^{-7}$				
F F S ㊸					
$C_4$	$-1.4873 \times 10^{-3}$	$C_6$	$6.3893 \times 10^{-3}$	$C_8$	$-3.4888 \times 10^{-4}$
$C_{10}$	$4.4785 \times 10^{-4}$	$C_{11}$	$7.5148 \times 10^{-5}$	$C_{13}$	$-2.2876 \times 10^{-5}$
$C_{15}$	$-1.6026 \times 10^{-6}$	$C_{17}$	$6.6637 \times 10^{-8}$	$C_{19}$	$-2.1661 \times 10^{-7}$
$C_{21}$	$-5.1934 \times 10^{-7}$				
F F S ㊹					
$C_4$	$2.3428 \times 10^{-3}$	$C_6$	$1.8637 \times 10^{-2}$	$C_8$	$-1.3964 \times 10^{-4}$
$C_{10}$	$5.0716 \times 10^{-4}$	$C_{11}$	$2.1076 \times 10^{-5}$	$C_{13}$	$9.0704 \times 10^{-6}$
$C_{15}$	$4.5632 \times 10^{-5}$	$C_{17}$	$3.5432 \times 10^{-6}$	$C_{19}$	$1.3266 \times 10^{-6}$
$C_{21}$	$4.8412 \times 10^{-6}$				
F F S ㊺					
$C_4$	$2.3068 \times 10^{-2}$	$C_6$	$9.4757 \times 10^{-3}$	$C_8$	$-5.9065 \times 10^{-4}$
$C_{10}$	$-1.5462 \times 10^{-3}$	$C_{11}$	$3.1704 \times 10^{-6}$	$C_{13}$	$-3.6061 \times 10^{-5}$
$C_{15}$	$-1.1832 \times 10^{-4}$	$C_{17}$	$2.2274 \times 10^{-9}$	$C_{19}$	$6.0630 \times 10^{-7}$
$C_{21}$	$-2.7289 \times 10^{-6}$				
F F S ㊻					
$C_4$	$-9.5851 \times 10^{-2}$	$C_6$	$-8.2266 \times 10^{-2}$	$C_8$	$1.6100 \times 10^{-1}$
$C_{10}$	$2.5040 \times 10^{-1}$				
偏心(1)					
X	0.00	Y	-2.43	Z	31.00
$\alpha$	-1.16	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(2)					
X	0.00	Y	0.00	Z	38.00
$\alpha$	-22.77	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
X	0.00	Y	25.26	Z	37.97
$\alpha$	5.60	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(4)					
X	0.00	Y	29.00	Z	32.80
$\alpha$	-28.60	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(5)					
X	0.00	Y	25.73	Z	41.50
$\alpha$	12.21	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(6)					
X	0.00	Y	22.20	Z	29.80
$\alpha$	-10.12	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(7)					
X	0.00	Y	11.99	Z	41.00
$\alpha$	-10.03	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(8)					
X	0.00	Y	10.80	Z	41.60
$\alpha$	-39.50	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

【0314】

## 実施例6

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	$\infty$	-1000.00			
1	$\infty$ (絞り面)				
2	F F S ㊸		偏心(1)	1.5254	56.3
3	F F S ㊹ (R S)		偏心(2)	1.5254	56.3

4	FFS①(RS)	偏心(1)	1.5254	56.3
5	FFS③(RS)	偏心(3)	1.5254	56.3
6	FFS④(RS)	偏心(4)	1.5254	56.3
7	FFS③	偏心(3)		
8	FFS⑤(DOE)	偏心(5)	1001.0000	-3.45
9	$\infty$	偏心(6)	1.5254	56.3
10	$\infty$	偏心(7)		
11	$\infty$ (SM)	偏心(8)		
12	$\infty$	偏心(7)	1.5254	56.3
13	$\infty$	偏心(6)	1001.0000	-3.45
14	FFS⑤(DOE)	偏心(5)		
15	FFS③	偏心(3)	1.5254	56.3
16	FFS⑥(RS)	偏心(9)	1.5254	56.3
17	FFS⑦	偏心(10)		
像面	$\infty$ (ID)	偏心(11)		
FFS①				
C <sub>4</sub>	$-1.5061 \times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	$-1.0780 \times 10^{-2}$	C <sub>8</sub> $5.3915 \times 10^{-5}$
C <sub>10</sub>	$1.1203 \times 10^{-4}$	C <sub>11</sub>	$2.2270 \times 10^{-5}$	C <sub>13</sub> $5.3542 \times 10^{-6}$
C <sub>15</sub>	$1.4831 \times 10^{-5}$	C <sub>17</sub>	$-5.5416 \times 10^{-7}$	C <sub>19</sub> $-1.6442 \times 10^{-6}$
C <sub>21</sub>	$-5.2850 \times 10^{-7}$			
FFS②				
C <sub>4</sub>	$-1.7129 \times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	$-1.2100 \times 10^{-2}$	C <sub>8</sub> $5.3911 \times 10^{-5}$
C <sub>10</sub>	$1.3053 \times 10^{-4}$	C <sub>11</sub>	$-2.4342 \times 10^{-6}$	C <sub>13</sub> $-1.0873 \times 10^{-5}$
C <sub>15</sub>	$-7.8052 \times 10^{-6}$	C <sub>17</sub>	$-2.7045 \times 10^{-7}$	C <sub>19</sub> $7.4549 \times 10^{-8}$
C <sub>21</sub>	$8.0154 \times 10^{-8}$			
FFS③				
C <sub>4</sub>	$-3.6262 \times 10^{-5}$	C <sub>6</sub>	$-1.3017 \times 10^{-3}$	C <sub>8</sub> $8.9071 \times 10^{-4}$
C <sub>10</sub>	$4.6866 \times 10^{-4}$	C <sub>11</sub>	$5.2903 \times 10^{-5}$	C <sub>13</sub> $3.6429 \times 10^{-5}$
C <sub>15</sub>	$2.3755 \times 10^{-5}$	C <sub>17</sub>	$7.7650 \times 10^{-6}$	C <sub>19</sub> $-1.8030 \times 10^{-6}$
C <sub>21</sub>	$-3.6704 \times 10^{-7}$			
FFS④				
C <sub>4</sub>	$1.1683 \times 10^{-3}$	C <sub>6</sub>	$2.3480 \times 10^{-2}$	C <sub>8</sub> $8.0187 \times 10^{-4}$
C <sub>10</sub>	$1.2419 \times 10^{-3}$	C <sub>11</sub>	$-1.8928 \times 10^{-5}$	C <sub>13</sub> $-2.3923 \times 10^{-5}$
C <sub>15</sub>	$5.9794 \times 10^{-5}$	C <sub>17</sub>	$3.1609 \times 10^{-6}$	C <sub>19</sub> $-6.4190 \times 10^{-6}$
C <sub>21</sub>	$1.0739 \times 10^{-6}$			
FFS⑤				
C <sub>4</sub>	$9.1268 \times 10^{-7}$	C <sub>6</sub>	$2.4655 \times 10^{-6}$	C <sub>8</sub> $-1.2771 \times 10^{-7}$
C <sub>10</sub>	$-5.5234 \times 10^{-7}$	C <sub>11</sub>	$-3.9730 \times 10^{-9}$	C <sub>13</sub> $-2.8927 \times 10^{-7}$
C <sub>15</sub>	$-2.1314 \times 10^{-7}$			
FFS⑥				
C <sub>4</sub>	$2.5785 \times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	$8.0767 \times 10^{-3}$	C <sub>8</sub> $-5.9351 \times 10^{-4}$
C <sub>10</sub>	$-2.3248 \times 10^{-3}$	C <sub>11</sub>	$1.3443 \times 10^{-5}$	C <sub>13</sub> $-3.5720 \times 10^{-5}$
C <sub>15</sub>	$-1.9262 \times 10^{-4}$	C <sub>17</sub>	$-1.6124 \times 10^{-6}$	C <sub>19</sub> $-4.7338 \times 10^{-6}$
C <sub>21</sub>	$-3.5539 \times 10^{-6}$			
FFS⑦				
C <sub>4</sub>	$-4.9887 \times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	$-6.2456 \times 10^{-1}$	C <sub>8</sub> $8.6672 \times 10^{-2}$
C <sub>10</sub>	$1.6268 \times 10^{-1}$			
偏心(1)				
X	0.00	Y	-0.43	Z 31.00
$\alpha$	-0.46	$\beta$	0.00	$\gamma$ 0.00

偏心(2)					
X	0.00	Y	0.00	Z	38.00
$\alpha$	-23.59	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(3)					
X	0.00	Y	19.80	Z	38.10
$\alpha$	13.32	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(4)					
X	0.00	Y	29.00	Z	31.70
$\alpha$	-25.83	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(5)					
X	0.00	Y	25.48	Z	39.49
$\alpha$	5.970927	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(6)					
X	0.00	Y	25.39	Z	39.50
$\alpha$	5.971337	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(7)					
X	0.00	Y	25.39	Z	40.50
$\alpha$	5.97	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(8)					
X	0.00	Y	25.03	Z	42.00
$\alpha$	5.97	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(9)					
X	0.00	Y	21.90	Z	29.40
$\alpha$	-10.98	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(10)					
X	0.00	Y	11.93	Z	38.93
$\alpha$	-43.88	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(11)					
X	0.00	Y	11.50	Z	40.00
$\alpha$	-46.32	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

【0315】

## 実施例7

面番号 物体面	曲率半径 $\infty$	面間隔 -1000.00	偏心	屈折率	アッペ数
1	$\infty$ (絞り面)				
2	FFS①		偏心(1)	1.5254	56.3
3	FFS② (RS)		偏心(2)	1.5254	56.3
4	FFS① (RS)		偏心(1)	1.5254	56.3
5	FFS③ (RS)		偏心(3)	1.5254	56.3
6	FFS④ (RS)		偏心(4)	1.5254	56.3
7	FFS③		偏心(3)		
8	$\infty$ (SM)		偏心(5)		
9	FFS③		偏心(3)	1.5254	56.3
10	FFS⑤ (RS)		偏心(6)	1.5254	56.3
11	FFS⑥		偏心(7)	1001.0000	-3.45
12	FFS⑦ (DOE)		偏心(8)		
像面	$\infty$ (ID)		偏心(9)		
FFS⑩					
C <sub>4</sub>	$-1.4954 \times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	$-3.1005 \times 10^{-3}$	C <sub>8</sub>	$-1.8832 \times 10^{-4}$
C <sub>10</sub>	$-1.3941 \times 10^{-4}$	C <sub>11</sub>	$2.2916 \times 10^{-5}$	C <sub>13</sub>	$-5.7542 \times 10^{-6}$



$$\begin{array}{lll} C_{15} & -5.3534 \times 10^{-6} & C_{17} \quad 1.1752 \times 10^{-7} \quad C_{19} \quad -1.3998 \times 10^{-6} \\ C_{21} & 3.6534 \times 10^{-7} & \end{array}$$

F F S ㉔

$$\begin{array}{lll} C_4 & -1.7958 \times 10^{-2} & C_6 \quad -1.2604 \times 10^{-2} \quad C_8 \quad -3.5546 \times 10^{-5} \\ C_{10} & 1.2037 \times 10^{-5} & C_{11} \quad -2.5621 \times 10^{-6} \quad C_{13} \quad -1.1539 \times 10^{-5} \\ C_{15} & -2.5026 \times 10^{-6} & C_{17} \quad -3.7508 \times 10^{-7} \quad C_{19} \quad -5.6219 \times 10^{-9} \\ C_{21} & 7.0899 \times 10^{-8} & \end{array}$$

F F S ㉕

$$\begin{array}{lll} C_4 & -1.4752 \times 10^{-3} & C_6 \quad 1.0676 \times 10^{-2} \quad C_8 \quad -9.7778 \times 10^{-4} \\ C_{10} & 6.5924 \times 10^{-4} & C_{11} \quad 4.8999 \times 10^{-5} \quad C_{13} \quad -1.4428 \times 10^{-4} \\ C_{15} & 8.1799 \times 10^{-6} & C_{17} \quad 4.9414 \times 10^{-6} \quad C_{19} \quad -5.5284 \times 10^{-6} \\ C_{21} & -1.7809 \times 10^{-7} & \end{array}$$

F F S ㉖

$$\begin{array}{lll} C_4 & 1.9030 \times 10^{-3} & C_6 \quad 1.9609 \times 10^{-2} \quad C_8 \quad -3.7242 \times 10^{-4} \\ C_{10} & 5.8962 \times 10^{-4} & C_{11} \quad -8.2189 \times 10^{-7} \quad C_{13} \quad -6.6048 \times 10^{-5} \\ C_{15} & 3.2812 \times 10^{-5} & C_{17} \quad 1.9424 \times 10^{-6} \quad C_{19} \quad -4.0772 \times 10^{-6} \\ C_{21} & 3.6367 \times 10^{-6} & \end{array}$$

F F S ㉗

$$\begin{array}{lll} C_4 & 2.4913 \times 10^{-2} & C_6 \quad 1.1366 \times 10^{-2} \quad C_8 \quad -9.4881 \times 10^{-4} \\ C_{10} & -1.6509 \times 10^{-3} & C_{11} \quad -1.5895 \times 10^{-5} \quad C_{13} \quad -7.6944 \times 10^{-5} \\ C_{15} & -1.1928 \times 10^{-4} & C_{17} \quad 3.1469 \times 10^{-7} \quad C_{19} \quad 2.9960 \times 10^{-6} \\ C_{21} & -1.3872 \times 10^{-6} & \end{array}$$

F F S ㉘

$$\begin{array}{lll} C_4 & -2.0341 \times 10^{-1} & C_6 \quad -2.9612 \times 10^{-1} \quad C_8 \quad 1.2744 \times 10^{-1} \\ C_{10} & 2.4118 \times 10^{-1} & C_{11} \quad 5.2153 \times 10^{-2} \quad C_{13} \quad 1.5877 \times 10^{-1} \\ C_{15} & 1.3403 \times 10^{-1} & \end{array}$$

F F S ㉙

$$\begin{array}{lll} C_4 & -2.0344 \times 10^{-1} & C_6 \quad -2.9619 \times 10^{-1} \quad C_8 \quad 1.2745 \times 10^{-1} \\ C_{10} & 2.4118 \times 10^{-1} & C_{11} \quad 5.2168 \times 10^{-2} \quad C_{13} \quad 1.5882 \times 10^{-1} \\ C_{15} & 1.3407 \times 10^{-1} & \end{array}$$

偏心(1)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & -2.37 & Z & 31.00 \\ \alpha & -0.99 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(2)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & 0.00 & Z & 38.00 \\ \alpha & -23.61 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(3)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & 25.80 & Z & 38.10 \\ \alpha & 5.92 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(4)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & 29.00 & Z & 32.50 \\ \alpha & -27.77 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(5)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & 25.08 & Z & 41.97 \\ \alpha & 7.16 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(6)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & 22.40 & Z & 30.10 \\ \alpha & -11.51 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(7)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & 13.64 & Z & 39.47 \end{array}$$

$\alpha$  -19.14334  $\beta$  0.00  $\gamma$  0.00

偏心(8)

X 0.00 Y 13.64 Z 39.47

 $\alpha$  -19.144951  $\beta$  0.00  $\gamma$  0.00

偏心(9)

X 0.00 Y 12.74 Z 40.13

 $\alpha$  -32.85  $\beta$  0.00  $\gamma$  0.00

。

【0316】

## 実施例8

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	$\infty$	-1000.00			
1	$\infty$ (絞り面)	0.00			
2	FFS①	0.00	偏心(1)	1.5254	56.3
3	FFS②(RS)	0.00	偏心(2)	1.5254	56.3
4	FFS①(RS)	0.00	偏心(1)	1.5254	56.3
5	FFS③(RS)	0.00	偏心(3)	1.5254	56.3
6	FFS④(RS)	0.00	偏心(4)	1.5254	56.3
7	FFS③	0.00	偏心(3)		
8	$\infty$ (SM)	0.00	偏心(5)		
9	FFS③	0.00	偏心(3)	1.5254	56.3
10	FFS⑤(DOE)	0.00	偏心(6)	1001.0000	-3.45
11	FFS⑥	0.00	偏心(7)	1.5254	56.3
12	FFS⑥(RS)	0.00	偏心(7)	1.5254	56.3
13	FFS⑦	0.00	偏心(8)		
像面	$\infty$ (ID)	0.00	偏心(9)		
FFS①					
$C_4$	$-1.8930 \times 10^{-2}$	$C_6$	$-5.9986 \times 10^{-3}$	$C_8$	$-4.9698 \times 10^{-4}$
$C_{10}$	$-1.9190 \times 10^{-4}$	$C_{11}$	$1.9724 \times 10^{-5}$	$C_{13}$	$-1.9807 \times 10^{-6}$
$C_{15}$	$-2.8084 \times 10^{-6}$	$C_{17}$	$7.0687 \times 10^{-7}$	$C_{19}$	$2.2711 \times 10^{-7}$
$C_{21}$	$3.7782 \times 10^{-7}$				
FFS②					
$C_4$	$-1.8355 \times 10^{-2}$	$C_6$	$-1.3294 \times 10^{-2}$	$C_8$	$-1.2020 \times 10^{-5}$
$C_{10}$	$3.0282 \times 10^{-5}$	$C_{11}$	$-2.2963 \times 10^{-6}$	$C_{13}$	$-6.0879 \times 10^{-6}$
$C_{15}$	$-1.7321 \times 10^{-6}$	$C_{17}$	$-1.0514 \times 10^{-7}$	$C_{19}$	$-3.1793 \times 10^{-8}$
$C_{21}$	$7.3677 \times 10^{-8}$				
FFS③					
$C_4$	$-7.6690 \times 10^{-3}$	$C_6$	$-1.0187 \times 10^{-3}$	$C_8$	$-4.7248 \times 10^{-5}$
$C_{10}$	$1.4031 \times 10^{-4}$	$C_{11}$	$7.5570 \times 10^{-6}$	$C_{13}$	$4.5382 \times 10^{-6}$
$C_{15}$	$4.3810 \times 10^{-6}$	$C_{17}$	$-3.2005 \times 10^{-9}$	$C_{19}$	$2.5203 \times 10^{-7}$
$C_{21}$	$2.4512 \times 10^{-8}$				
FFS④					
$C_4$	$-1.1146 \times 10^{-4}$	$C_6$	$1.4788 \times 10^{-2}$	$C_8$	$-2.0624 \times 10^{-4}$
$C_{10}$	$1.3803 \times 10^{-4}$	$C_{11}$	$6.0695 \times 10^{-7}$	$C_{13}$	$-2.6989 \times 10^{-5}$
$C_{15}$	$1.0474 \times 10^{-5}$	$C_{17}$	$-2.6782 \times 10^{-7}$	$C_{19}$	$2.1512 \times 10^{-6}$
$C_{21}$	$2.7443 \times 10^{-7}$				
FFS⑤					
$C_4$	$2.5343 \times 10^{-2}$	$C_6$	$1.1971 \times 10^{-2}$	$C_8$	$-6.6279 \times 10^{-4}$
$C_{10}$	$-2.0078 \times 10^{-3}$	$C_{11}$	$2.4823 \times 10^{-7}$	$C_{13}$	$6.5965 \times 10^{-8}$
$C_{15}$	$-2.0695 \times 10^{-4}$				
FFS⑥					

$C_4$	$2.5360 \times 10^{-2}$	$C_6$	$1.2100 \times 10^{-2}$	$C_8$	$-6.6194 \times 10^{-4}$
$C_{10}$	$-1.9881 \times 10^{-3}$	$C_{11}$	$2.1559 \times 10^{-7}$	$C_{13}$	$-2.9176 \times 10^{-8}$
$C_{15}$	$-2.0656 \times 10^{-4}$				

## FFS⑦

$C_4$	$-1.5301 \times 10^{-1}$	$C_6$	$-2.9098 \times 10^{-1}$	$C_8$	$9.9942 \times 10^{-2}$
$C_{10}$	$1.4497 \times 10^{-1}$				

## 偏心(1)

X	0.00	Y	-0.79	Z	31.00
$\alpha$	-0.56	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

## 偏心(2)

X	0.00	Y	0.00	Z	38.00
$\alpha$	-22.92	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

## 偏心(3)

X	0.00	Y	27.66	Z	37.80
$\alpha$	14.98	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

## 偏心(4)

X	0.00	Y	28.93	Z	30.30
$\alpha$	-10.23	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

## 偏心(5)

X	0.00	Y	30.90	Z	40.09
$\alpha$	34.21	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

## 偏心(6)

X	0.00	Y	22.08	Z	29.70
$\alpha$	-9.821925	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

## 偏心(7)

X	0.00	Y	22.06	Z	29.70
$\alpha$	-9.767386	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

## 偏心(8)

X	0.00	Y	14.19	Z	39.91
$\alpha$	-22.69	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

## 偏心(9)

X	0.00	Y	13.60	Z	40.71
$\alpha$	-36.21	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

【0317】

## 実施例9

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	$\infty$	-1000.00			
1	$\infty$ (絞り面)				
2	FFS①		偏心(1)	1.5254	56.3
3	FFS② (RS)		偏心(2)	1.5254	56.3
4	FFS① (RS)		偏心(1)	1.5254	56.3
5	FFS③		偏心(3)		
6	FFS④		偏心(4)	1.5254	56.3
7	FFS⑤ (RS)		偏心(5)	1.5254	56.3
8	FFS⑥ (RS)		偏心(6)	1.5254	56.3
9	FFS⑤		偏心(5)		
10	$\infty$ (SM)		偏心(7)		
11	FFS⑤		偏心(5)	1.5254	56.3
12	FFS⑦ (RS)		偏心(8)	1.5254	56.3
13	FFS⑧		偏心(9)		

像 面		$\infty$ ( I D )		偏心(10)	
F F S ①					
C <sub>4</sub>	-1.3700 $\times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	-1.9375 $\times 10^{-3}$	C <sub>8</sub>	9.7698 $\times 10^{-5}$
C <sub>10</sub>	-3.2096 $\times 10^{-5}$	C <sub>11</sub>	3.9888 $\times 10^{-6}$	C <sub>13</sub>	6.6545 $\times 10^{-6}$
C <sub>15</sub>	-1.8425 $\times 10^{-6}$				
F F S ②					
C <sub>4</sub>	-1.3714 $\times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	-1.0751 $\times 10^{-2}$	C <sub>8</sub>	8.1197 $\times 10^{-5}$
C <sub>10</sub>	-4.0429 $\times 10^{-5}$	C <sub>11</sub>	-1.4329 $\times 10^{-6}$	C <sub>13</sub>	-9.4743 $\times 10^{-6}$
C <sub>15</sub>	-2.9539 $\times 10^{-6}$				
F F S ③					
C <sub>4</sub>	-1.5664 $\times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	8.4031 $\times 10^{-3}$	C <sub>8</sub>	2.3706 $\times 10^{-3}$
C <sub>10</sub>	-2.8346 $\times 10^{-4}$	C <sub>11</sub>	8.1802 $\times 10^{-4}$	C <sub>13</sub>	-6.4068 $\times 10^{-5}$
C <sub>15</sub>	3.1433 $\times 10^{-4}$				
F F S ④					
C <sub>4</sub>	-3.4034 $\times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	2.8744 $\times 10^{-2}$	C <sub>8</sub>	1.0456 $\times 10^{-3}$
C <sub>10</sub>	-1.6487 $\times 10^{-3}$	C <sub>11</sub>	9.7983 $\times 10^{-4}$	C <sub>13</sub>	-5.3118 $\times 10^{-4}$
C <sub>15</sub>	1.2443 $\times 10^{-4}$				
F F S ⑤					
C <sub>4</sub>	8.4707 $\times 10^{-3}$	C <sub>6</sub>	9.1455 $\times 10^{-3}$	C <sub>8</sub>	2.7776 $\times 10^{-4}$
C <sub>10</sub>	-3.6141 $\times 10^{-4}$	C <sub>11</sub>	-8.1085 $\times 10^{-6}$	C <sub>13</sub>	-2.9304 $\times 10^{-5}$
C <sub>15</sub>	-2.2792 $\times 10^{-5}$				
F F S ⑥					
C <sub>4</sub>	1.9050 $\times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	1.6149 $\times 10^{-2}$	C <sub>8</sub>	2.2959 $\times 10^{-4}$
C <sub>10</sub>	6.2614 $\times 10^{-5}$	C <sub>11</sub>	-1.6282 $\times 10^{-5}$	C <sub>13</sub>	8.8484 $\times 10^{-6}$
C <sub>15</sub>	-2.8589 $\times 10^{-6}$				
F F S ⑦					
C <sub>4</sub>	1.8388 $\times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	1.4231 $\times 10^{-2}$	C <sub>8</sub>	9.3557 $\times 10^{-4}$
C <sub>10</sub>	5.8540 $\times 10^{-4}$	C <sub>11</sub>	-5.4605 $\times 10^{-4}$	C <sub>13</sub>	-5.1830 $\times 10^{-4}$
C <sub>15</sub>	-1.5342 $\times 10^{-4}$				
F F S ⑧					
C <sub>4</sub>	-4.1591 $\times 10^{-1}$	C <sub>6</sub>	-3.6816 $\times 10^{-1}$	C <sub>8</sub>	9.0303 $\times 10^{-3}$
C <sub>10</sub>	1.1218 $\times 10^{-2}$	C <sub>11</sub>	6.0028 $\times 10^{-2}$	C <sub>13</sub>	1.2823 $\times 10^{-1}$
C <sub>15</sub>	6.0285 $\times 10^{-2}$				
偏心(1)					
X	0.00	Y	-1.42	Z	31.00
$\alpha$	-0.33	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(2)					
X	0.00	Y	0.00	Z	38.00
$\alpha$	-25.81	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(3)					
X	0.00	Y	15.14	Z	34.72
$\alpha$	61.57	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(4)					
X	0.00	Y	15.77	Z	34.64
$\alpha$	57.12	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(5)					
X	0.00	Y	27.00	Z	38.84
$\alpha$	9.39	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(6)					
X	0.00	Y	30.70	Z	30.30

$\alpha$  -22.92  $\beta$  0.00  $\gamma$  0.00

偏心(7)

X 0.00 Y 24.73 Z 45.00

 $\alpha$  -0.89  $\beta$  0.00  $\gamma$  0.00

偏心(8)

X 0.00 Y 19.20 Z 29.90

 $\alpha$  40.14  $\beta$  0.00  $\gamma$  0.00

偏心(9)

X 0.00 Y 33.21 Z 36.74

 $\alpha$  61.40  $\beta$  0.00  $\gamma$  0.00

偏心(10)

X 0.00 Y 34.50 Z 37.50

 $\alpha$  60.39  $\beta$  0.00  $\gamma$  0.00

。

【0318】

## 実施例10

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	$\infty$	-1000.00			
1	$\infty$ (絞り面)				
2	FFS①		偏心(1)	1.5254	56.3
3	FFS②(RS)		偏心(2)	1.5254	56.3
4	FFS①(RS)		偏心(1)	1.5254	56.3
5	FFS③		偏心(3)		
6	FFS④		偏心(4)	1.5254	56.3
7	FFS⑤(RS)		偏心(5)	1.5254	56.3
8	FFS⑥(RS)		偏心(6)	1.5254	56.3
9	FFS⑤		偏心(5)		
10	$\infty$ (SM)		偏心(7)		
11	FFS⑤		偏心(5)	1.5254	56.3
12	FFS⑦(RS)		偏心(8)	1.5254	56.3
13	FFS⑧		偏心(9)		
像面	$\infty$ (ID)		偏心(10)		
FFS①					
C <sub>4</sub>	$-7.0406 \times 10^{-3}$	C <sub>6</sub>	$-2.4337 \times 10^{-3}$	C <sub>8</sub>	$6.6633 \times 10^{-5}$
C <sub>10</sub>	$5.2912 \times 10^{-5}$	C <sub>11</sub>	$1.6468 \times 10^{-6}$	C <sub>13</sub>	$-5.4253 \times 10^{-6}$
C <sub>15</sub>	$-3.5520 \times 10^{-6}$				
FFS②					
C <sub>4</sub>	$-1.1143 \times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	$-9.4590 \times 10^{-3}$	C <sub>8</sub>	$-1.7001 \times 10^{-5}$
C <sub>10</sub>	$-5.0831 \times 10^{-5}$	C <sub>11</sub>	$-2.0668 \times 10^{-6}$	C <sub>13</sub>	$-7.5805 \times 10^{-6}$
C <sub>15</sub>	$-2.8356 \times 10^{-6}$				
FFS③					
C <sub>4</sub>	$3.2494 \times 10^{-3}$	C <sub>6</sub>	$-2.0429 \times 10^{-2}$	C <sub>8</sub>	$3.2169 \times 10^{-3}$
C <sub>10</sub>	$6.6243 \times 10^{-3}$	C <sub>11</sub>	$2.3647 \times 10^{-5}$	C <sub>13</sub>	$1.2171 \times 10^{-4}$
C <sub>15</sub>	$4.4600 \times 10^{-4}$				
FFS④					
C <sub>4</sub>	$7.3940 \times 10^{-3}$	C <sub>6</sub>	$-5.0843 \times 10^{-3}$	C <sub>8</sub>	$1.1997 \times 10^{-3}$
C <sub>10</sub>	$4.2207 \times 10^{-3}$	C <sub>11</sub>	$3.3307 \times 10^{-6}$	C <sub>13</sub>	$-1.9571 \times 10^{-4}$
C <sub>15</sub>	$5.6086 \times 10^{-4}$				
FFS⑤					
C <sub>4</sub>	$5.8956 \times 10^{-3}$	C <sub>6</sub>	$1.3359 \times 10^{-2}$	C <sub>8</sub>	$-8.7885 \times 10^{-5}$
C <sub>10</sub>	$-4.1027 \times 10^{-4}$	C <sub>11</sub>	$-1.5456 \times 10^{-5}$	C <sub>13</sub>	$-8.6089 \times 10^{-6}$

$C_{15}$	$-1.0820 \times 10^{-5}$				
F F S ⑥					
$C_4$	$1.4529 \times 10^{-2}$	$C_6$	$2.0204 \times 10^{-2}$	$C_8$	$-1.5358 \times 10^{-5}$
$C_{10}$	$-7.8404 \times 10^{-6}$	$C_{11}$	$-1.8421 \times 10^{-5}$	$C_{13}$	$1.2431 \times 10^{-5}$
$C_{15}$	$1.5856 \times 10^{-6}$				
F F S ⑦					
$C_4$	$1.9880 \times 10^{-2}$	$C_6$	$1.3990 \times 10^{-2}$	$C_8$	$6.0097 \times 10^{-4}$
$C_{10}$	$6.2646 \times 10^{-4}$	$C_{11}$	$-8.3063 \times 10^{-5}$	$C_{13}$	$-1.7420 \times 10^{-4}$
$C_{15}$	$-1.0421 \times 10^{-4}$				
F F S ⑧					
$C_4$	$-2.0025 \times 10^{-1}$	$C_6$	$7.8315 \times 10^{-2}$	$C_8$	$3.7605 \times 10^{-1}$
$C_{10}$	$4.4985 \times 10^{-1}$	$C_{11}$	$6.9743 \times 10^{-2}$	$C_{13}$	$2.0400 \times 10^{-1}$
$C_{15}$	$1.2236 \times 10^{-1}$				
偏心(1)					
X	0.00	Y	-0.02	Z	31.00
$\alpha$	-0.01	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(2)					
X	0.00	Y	0.00	Z	38.00
$\alpha$	-25.66	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(3)					
X	0.00	Y	15.80	Z	35.06
$\alpha$	60.89	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(4)					
X	0.00	Y	16.20	Z	35.35
$\alpha$	62.51	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(5)					
$\alpha$	5.66	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(6)					
X	0.00	Y	30.50	Z	30.30
$\alpha$	-26.82	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(7)					
X	0.00	Y	23.16	Z	45.00
$\alpha$	-7.46	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(8)					
X	0.00	Y	19.30	Z	30.00
$\alpha$	37.71	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(9)					
X	0.00	Y	33.80	Z	35.99
$\alpha$	81.66	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(10)					
X	0.00	Y	34.80	Z	37.50
$\alpha$	68.08	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

【0319】

## 実施例11

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッペ数
物体面	$\infty$	1000.00			
1	$\infty$ (絞り面)				
2	F F S ①		偏心(1)	1.5254	56.3
3	F F S ② (R S)		偏心(2)	1.5254	56.3
4	F F S ③ (R S)		偏心(1)	1.5254	56.3

5	FFS③ (RS)		偏心(3)		1.5254	56.3
6	FFS④ (RS)		偏心(4)		1.5254	56.3
7	FFS③		偏心(3)			
8	∞ (SM)		偏心(5)			
9	FFS③		偏心(3)		1.5254	56.3
10	FFS⑤ (RS)		偏心(6)		1.5254	56.3
11	FFS⑥		偏心(7)			
像 面	∞ (ID)		偏心(8)			
FFS①						
C <sub>4</sub>	-9.8163 ×10 <sup>-2</sup>	C <sub>6</sub>	-3.0081 ×10 <sup>-2</sup>	C <sub>8</sub>	-5.8495 ×10 <sup>-3</sup>	
C <sub>10</sub>	1.9181 ×10 <sup>-3</sup>	C <sub>11</sub>	-7.1250 ×10 <sup>-4</sup>	C <sub>13</sub>	2.2923 ×10 <sup>-3</sup>	
C <sub>15</sub>	-1.4276 ×10 <sup>-4</sup>	C <sub>17</sub>	1.8805 ×10 <sup>-4</sup>	C <sub>19</sub>	-1.4967 ×10 <sup>-4</sup>	
C <sub>21</sub>	4.3060 ×10 <sup>-6</sup>					
FFS②						
C <sub>4</sub>	-5.5042 ×10 <sup>-2</sup>	C <sub>6</sub>	-2.1578 ×10 <sup>-2</sup>	C <sub>8</sub>	1.6881 ×10 <sup>-3</sup>	
C <sub>10</sub>	3.9964 ×10 <sup>-4</sup>	C <sub>11</sub>	-1.5243 ×10 <sup>-4</sup>	C <sub>13</sub>	-2.1296 ×10 <sup>-4</sup>	
C <sub>15</sub>	-2.2807 ×10 <sup>-5</sup>	C <sub>17</sub>	1.5362 ×10 <sup>-5</sup>	C <sub>19</sub>	1.8463 ×10 <sup>-5</sup>	
C <sub>21</sub>	2.4521 ×10 <sup>-6</sup>					
FFS③						
C <sub>4</sub>	-1.1016 ×10 <sup>-2</sup>	C <sub>6</sub>	-1.1884 ×10 <sup>-2</sup>	C <sub>8</sub>	-2.6635 ×10 <sup>-4</sup>	
C <sub>10</sub>	-2.1578 ×10 <sup>-4</sup>	C <sub>11</sub>	-7.8498 ×10 <sup>-8</sup>	C <sub>13</sub>	-3.2993 ×10 <sup>-5</sup>	
C <sub>15</sub>	-2.8409 ×10 <sup>-5</sup>	C <sub>17</sub>	-6.7467 ×10 <sup>-7</sup>	C <sub>19</sub>	1.6667 ×10 <sup>-6</sup>	
C <sub>21</sub>	-1.4029 ×10 <sup>-6</sup>					
FFS④						
C <sub>4</sub>	-9.7445 ×10 <sup>-4</sup>	C <sub>6</sub>	6.4883 ×10 <sup>-3</sup>	C <sub>8</sub>	-8.2684 ×10 <sup>-4</sup>	
C <sub>10</sub>	-1.9052 ×10 <sup>-3</sup>	C <sub>11</sub>	5.2231 ×10 <sup>-6</sup>	C <sub>13</sub>	-1.2138 ×10 <sup>-4</sup>	
C <sub>15</sub>	-1.6368 ×10 <sup>-4</sup>	C <sub>17</sub>	-2.0423 ×10 <sup>-6</sup>	C <sub>19</sub>	-6.0248 ×10 <sup>-6</sup>	
C <sub>21</sub>	-7.3762 ×10 <sup>-6</sup>					
FFS⑤						
C <sub>4</sub>	3.0672 ×10 <sup>-2</sup>	C <sub>6</sub>	-7.5408 ×10 <sup>-3</sup>	C <sub>8</sub>	-4.4037 ×10 <sup>-4</sup>	
C <sub>10</sub>	-6.2386 ×10 <sup>-3</sup>	C <sub>11</sub>	1.2740 ×10 <sup>-5</sup>	C <sub>13</sub>	1.1649 ×10 <sup>-4</sup>	
C <sub>15</sub>	-5.9805 ×10 <sup>-4</sup>	C <sub>17</sub>	-1.7269 ×10 <sup>-6</sup>	C <sub>19</sub>	7.6241 ×10 <sup>-6</sup>	
C <sub>21</sub>	-2.2286 ×10 <sup>-5</sup>					
FFS⑥						
C <sub>4</sub>	3.3652 ×10 <sup>-1</sup>	C <sub>6</sub>	-3.1918 ×10 <sup>-1</sup>	C <sub>8</sub>	1.3945 ×10 <sup>-1</sup>	
C <sub>10</sub>	7.4723 ×10 <sup>-2</sup>					
偏心(1)						
X	0.00	Y	-6.00	Z	3.00	
α	-13.13	β	0.00	γ	0.00	
偏心(2)						
X	0.00	Y	0.00	Z	8.00	
α	-20.61	β	0.00	γ	0.00	
偏心(3)						
X	0.00	Y	18.16	Z	8.10	
α	14.85	β	0.00	γ	0.00	
偏心(4)						
X	0.00	Y	20.00	Z	4.80	
α	-24.09	β	0.00	γ	0.00	
偏心(5)						
X	0.00	Y	17.00	Z	11.70	

$\alpha$	12.36	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(6)					
X	0.00	Y	14.83	Z	2.90
$\alpha$	-11.34	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(7)					
X	0.00	Y	6.34	Z	9.50
$\alpha$	-17.75	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(8)					
X	0.00	Y	5.22	Z	10.00
$\alpha$	-42.33	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

【0320】以上、本発明の映像表示装置を実施例に基づいて説明してきたが、本発明はこれらの実施例に限定されず数々の変形が可能である。

【0321】以上の本発明の映像表示装置は例えば次のように構成することができる：

〔1〕 映像を表示する映像表示素子と、前記映像表示素子を発する光を走査する走査手段と、前記映像表示素子によって形成され前記走査手段により走査された映像を投影する投影光学系とからなる映像表示装置において、前記投影光学系が、1より大きな屈折率の媒質で構成されたプリズム部材を少なくとも1個有し、前記プリズム部材は、光束をプリズム部材に入射させる透過面と、光束をプリズム部材内で反射させる反射面、光束をプリズムから射出する透過面の少なくとも3面を有しており、前記投影光学系が含む前記プリズム部材での反射回数の合計が3回以上で、前記プリズム部材の反射面の少なくとも1面が光学的パワーを有し、光軸に対して偏心しており、逆光線追跡で、瞳と像面である映像表示素子の間に前記投影光学系と前記走査手段が配置され、瞳からの光線は少なくとも前記プリズム部材を経て前記走査手段に至ることを特徴とする映像表示装置。

【0322】〔2〕 前記投影光学系が含む前記プリズム部材での反射回数の合計が4回以上であることを特徴とする上記1記載の映像表示装置。

【0323】〔3〕 前記投影光学系の反射面が光学的パワーを有することを特徴とする上記1記載の映像表示装置。

【0324】〔4〕 前記投影光学系が、反射面の少なくとも1面と透過面の少なくとも1面が同一面に形成された透過と反射の兼用面を備えていることを特徴とする上記1記載の映像表示装置。

【0325】〔5〕 少なくとも1つのプリズム部材が、瞳から前記映像表示素子に向かう逆光線追跡で、少なくとも、前記プリズム部材へ入射する第1透過面、光学的パワーを有し光軸に対して偏心した第1反射面、第2反射面、前記プリズム部材から射出する第2透過面を含み、少なくとも前記第1透過面と前記第2反射面が同一の兼用面であることを特徴とする上記4記載の映像表示装置。

【0326】〔6〕 逆光線追跡で、前記第2反射面に

おける反射が全反射であることを特徴とする上記5記載の映像表示装置。

【0327】〔7〕 前記投影光学系が、瞳から前記映像表示素子に向かう逆光線追跡で、少なくとも、前記プリズム部材へ入射する第1透過面、光学的パワーを有し光軸に対して偏心した第1反射面、第2反射面、第3反射面、前記プリズム部材から射出して走査手段に至る第2透過面を含み、前記第1透過面と前記第2反射面が同一の兼用面であり、前記第2反射面と前記第3反射面の間に中間像を形成することを特徴とする上記1記載の映像表示装置。

【0328】〔8〕 前記投影光学系が、瞳から前記映像表示素子に向かう逆光線追跡で、前記走査手段で反射した後、前記プリズム部材の前記第4反射面を経て前記映像表示素子に結像することを特徴とする上記7記載の映像表示装置。

【0329】〔9〕 前記投影光学系が、瞳から前記映像表示素子に向かう逆光線追跡で、前記走査手段で反射した後、少なくとも、第3透過面、第4透過面を経て前記映像表示素子に結像することを特徴とする上記7記載の映像表示装置。

【0330】〔10〕 前記投影光学系が、第1プリズム部材と第2プリズム部材を含み、瞳から前記映像表示素子に向かう逆光線追跡で、前記第1プリズム部材が、前記第1プリズム部材へ入射する第1透過面、光学的パワーを有し光軸に対して偏心した第1反射面、第2反射面、前記第1プリズム部材からの射出面を含み、前記第2プリズム部材が、前記第2プリズム部材への入射面、第3反射面、前記第2プリズム部材から射出して前記走査手段に至る第2透過面、を含み、前記第1透過面と前記第2反射面が同一面であり、前記第2反射面と前記第3反射面の間に中間像を形成することを特徴とする上記7記載の映像表示装置。

【0331】〔11〕 前記第2反射面での反射が全反射であることを特徴とする上記7～10の何れか1項記載の映像表示装置。

【0332】〔12〕 前記投影光学系が、瞳から前記映像表示素子に向かう逆光線追跡で、少なくとも、前記プリズム部材へ入射する第1透過面、光学的パワーを有し光軸に対して偏心した第1反射面、第2反射面、第3



反射面、第4反射面、前記プリズム部材から射出して前記走査手段に至る第2透過面を含み、前記第1透過面と前記第2反射面、前記第3反射面と前記第2透過面が同一面であり、前記第2反射面と前記第4反射面の間に中間像を形成することを特徴とする上記1記載の映像表示装置。

【0333】〔13〕 前記投影光学系が、瞳から前記映像表示素子に向かう逆光線追跡で、前記走査手段で反射した後、少なくとも前記プリズム部材へ入射する第3透過面、第5反射面、前記プリズム部材を射出する第4透過面を経て前記映像表示素子に結像し、前記第3反射面と前記第2透過面と前記第3透過面が同一面であることを特徴とする上記12記載の映像表示装置。

【0334】〔14〕 前記投影光学系が、瞳から前記映像表示素子に向かう逆光線追跡で、前記走査手段で反射した後、少なくとも前記プリズム部材へ入射する第3透過面、第5反射面、前記プリズム部材を射出する第4透過面を経て前記映像表示素子に結像し、前記第3反射面と前記第2透過面と前記第3透過面と前記第4透過面が同一面であることを特徴とする上記13記載の映像表示装置。

【0335】〔15〕 前記投影光学系が、第1プリズム部材と第2プリズム部材を含み、瞳から前記映像表示素子に向かう逆光線追跡で、前記第1プリズム部材が、前記第1プリズム部材へ入射する第1透過面、光学的パワーを有し光軸に対して偏心した第1反射面、第2反射面、前記第1プリズム部材から射出する第2透過面を含み、前記第2プリズム部材が、前記第2プリズム部材へ入射する第3透過面、第3反射面、第4反射面、前記第2プリズム部材から射出して前記走査手段に至る第4透過面、前記走査手段から前記第2プリズム部材に入射する第5透過面、第5反射面、前記第2プリズム部材から射出して前記映像表示素子に至る第6透過面を含むことを特徴とする上記12記載の映像表示装置。

$$0.1 \leq \phi / \theta \leq 1.8$$

〔20〕 次式を満たすことを特徴とする上記19記載の映像表示装置。

$$0.25 \leq \phi / \theta \leq 1.7$$

〔21〕 逆光線追跡において、入射瞳から入射した光線が中間像を形成する際に、入射瞳から中間像に入射する主光線が収束状態であることを特徴とする上記1、7～16の何れか1項記載の映像表示装置。

【0342】〔22〕 前記投影光学系が、前記プリズム部材と第2プリズム部材を経て前記映像表示素子に至るとき、前記第2プリズム部材内に中間像を形成していることを特徴とする上記23記載の映像表示装置。

【0344】〔24〕 前記投影光学系が、前記プリズム部材を2個含み、逆光線追跡で、瞳から第1プリズム部材と第2プリズム部材を経て前記映像表示素子に至るとき、前記第2プリズム部材内に中間像を形成していることを特徴とする上記23記載の映像表示装置。

【0345】〔25〕 前記プリズム部材の屈折率が1より大きな媒質のd線(587.56nm)での屈折率をNdとすると、

【0336】〔16〕 前記投影光学系が、瞳から前記映像表示素子に向かう逆光線追跡で、入射瞳と前記走査手段が略共役な位置関係にあり、前記投影光学系内で一度中間結像し、入射瞳から中間像までの光学系と、中間像から前記走査手段までの光学系が中間像に対して対称な構成となっていることを特徴とする上記1記載の映像表示装置。

【0337】〔17〕 前記投影光学系が、映像表示素子光を集光光学系で略コリメートし、瞳と略共役な位置の前記走査手段に導き、前記走査手段で走査した光をリレー光学系で中間像として結像し、中間像を接眼光学系で瞳に導く構成で、逆光線追跡で、前記投影光学系が、入射瞳と前記走査手段の間に少なくとも3面の光学的パワーを持つ反射面を有し、逆光線追跡で、前記接眼光学系が少なくとも2面の反射面を有し、前記リレー光学系が少なくとも1面の反射面を有し、入射瞳からの光に対する2回目の反射面と、前記走査手段の手前の最後の反射面の間に中間像を形成することを特徴とする上記1、7～16の何れか1項記載の映像表示装置。

【0338】〔18〕 前記投影光学系が、逆光線追跡で、瞳からの光を中間像として形成する前記接眼光学系が少なくとも2面の反射面を有し、中間像からの光を前記走査手段に導く前記リレー光学系が少なくとも2面の反射面を有することを特徴とする上記17記載の映像表示装置。

【0339】〔19〕 逆光線追跡で、入射瞳から前記投影光学系に入射した光は、一度中間像として結像した後に、入射瞳と略共役な位置の前記走査手段を経て前記映像表示素子に結像し、前記走査手段の走査方向における入射瞳から前記投影光学系に入射する半画角 $\theta$ と、前記走査手段の走査方向における映像表示に必要な前記走査手段の片側振れ角 $\phi$ が次式を満たすことを特徴とする上記1、7～16の何れか1項記載の映像表示装置。

$$\begin{aligned} & \text{【0340】} \\ & \dots (1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{【0341】} \\ & \dots (1-1) \end{aligned}$$

ム部材を1個含むことを特徴とする上記1記載の映像表示装置。

【0343】〔23〕 前記投影光学系が、前記プリズム部材を少なくとも2個含み、

$$\begin{aligned} & \text{【0342】〔22〕} \\ & \dots (2) \end{aligned}$$

部材と第2プリズム部材を経て前記映像表示素子に至るとき、前記第2プリズム部材内に中間像を形成していることを特徴とする上記23記載の映像表示装置。

【0345】〔25〕 前記プリズム部材の屈折率が1より大きな媒質のd線(587.56nm)での屈折率をNdとすると、

$$2.0 > \text{Nd} > 1.4$$

ことを特徴とする上記1、7～16の何れか1項記載の映像表示装置。

【0346】〔26〕 前記プリズム部材が、光学プラスチックであることを特徴とする上記25記載の映像表示装置。

【0347】〔27〕 逆光線追跡における前記第1透過面が、第1反射面に対して凸面を向けていることを特徴とする上記5、7～16の何れか1項記載の映像表示

$$20 > \theta_1 > -30 \quad [^\circ]$$

を満たすことを特徴とする上記5、7～16の何れか1項記載の映像表示装置。ただし、入射角 $\theta_1$ は法線に対して反時計回りが正とする。

$$40 > \theta_2 > 5 \quad [^\circ]$$

を満たすことを特徴とする上記5、7～16の何れか1項記載の映像表示装置。ただし、入射角 $\theta_1$ は法線に対して反時計回りが正とする。

【0351】〔31〕 前記第1透過面と前記第2反射面との兼用面が、光学的パワーを与えかつ偏心収差を補正する非回転対称な面形状に形成されていることを特徴とする上記5、7～16の何れか1項記載の映像表示装置。

【0352】〔32〕 前記第1反射面が、光学的パワーを与えかつ偏心収差を補正する非回転対称な面形状に形成されていることを特徴とする上記5、7～16の何れか1項記載の映像表示装置。

【0353】〔33〕 逆光線追跡において、前記走査手段の直前の反射面が、光学的パワーを与えかつ偏心収差を補正する非回転対称な面形状に形成されていることを特徴とする上記5、7～16の何れか1項記載の映像表示装置。

【0354】〔34〕 逆光線追跡において、前記走査手段の直後の反射面が、光学的パワーを与えかつ偏心収差を補正する非回転対称な面形状に形成されていることを特徴とする上記5、7～16の何れか1項記載の映像表示装置。

【0355】〔35〕 前記回転非対称な面形状が、対称面を1面のみ有する自由曲面形状にて構成されていることを特徴とする上記31～34の何れか1項記載の映像表示装置。

【0356】〔36〕 前記投影光学系が回折作用を持つ面を備えていることを特徴とする上記1、7～16の何れか1項記載の映像表示装置。

【0357】〔37〕 前記投影光学系の透過面の表面が透過型のDOEを兼ねるか、あるいは、前記投影光学

$$|\theta_s| \leq 60^\circ$$

〔45〕 前記走査手段に対する軸上主光線の入射角が次式を満足することを特徴とする上記44記載の映像表

$$10^\circ \leq |\theta_s| \leq 45^\circ$$

〔46〕 往復走査をすることを特徴とする上記1、7

・・・(3)

装置。

【0348】〔28〕 逆光線追跡における前記第1反射面が、正のパワーを有するように前記第1透過面側に凹面を向けた形状に構成されていることを特徴とする上記5、7～16の何れか1項記載の映像表示装置。

【0349】〔29〕 逆光線追跡で、軸上主光線の前記第1透過面への入射角 $\theta_1$ が、

・・・(4)

【0350】〔30〕 逆光線追跡で、軸上主光線の前記第1反射面への入射角 $\theta_2$ が、

・・・(5)

系の反射面の表面が反射型のDOEを兼ねるか、あるいは、前記走査手段のミラー反射面が反射型のDOEを兼ねるといように前記投影光学系あるいは前記走査手段の表面がDOEを兼ねることを特徴とする上記36記載の映像表示装置。

【0358】〔38〕 前記プリズム部材と前記走査手段の間にDOE作用を持つ面を追加して、色収差の制御をすることを特徴とする上記36記載の映像表示装置。

【0359】〔39〕 前記プリズム部材と前記走査手段の間に配置した透過型DOEにより、前記プリズム部材射出後に走査手段に入射する光路と、前記走査手段射出後に前記プリズム部材に入射する光路の両方の光路で回折作用を受けることを特徴とする上記38記載の映像表示装置。

【0360】〔40〕 前記DOEがスキャナと一体に保持されていることを特徴とする上記38記載の映像表示装置。

【0361】〔41〕 前記走査手段と前記投影光学系により形成される像の歪みを打ち消すような映像を前記映像表示素子に表示することを特徴とする上記1、7～16の何れか1項記載の映像表示装置。

【0362】〔42〕 前記電気的像歪み補正が、等速走査性の補正であることを特徴とする上記41記載の映像表示装置。

【0363】〔43〕 前記走査手段が2次元走査をすることを特徴とする上記1、7～16の何れか1項記載の映像表示装置。

【0364】〔44〕 前記走査手段の法線に対する軸上主光線の入射角 $\theta_s$ が次式を満足することを特徴とする上記1、7～16の何れか1項記載の映像表示装置。

【0365】

・・・(6)

示装置。

【0366】

・・・(6-1)

～16の何れか1項記載の映像表示装置。

【0367】〔47〕 前記走査手段は走査方向に正弦波状に振動する走査手段であることを特徴とする上記1、7～16の何れか1項記載の映像表示装置。

【0368】〔48〕 正弦波状に振動する前記走査手段の振幅の95%以下を映像表示に利用することを特徴とする上記47記載の映像表示装置。

【0369】〔49〕 正弦波状に振動する前記走査手段の振幅の90%以下を映像表示に利用することを特徴とする上記48記載の映像表示装置。

【0370】〔50〕 主走査方向の走査を繰り返して2次元像を形成するとき、主走査方向は正弦波状に振動する走査ミラーで、副走査方向は振れ角がリニアに変化する走査ミラーであることを特徴とする上記1、7～16の何れか1項記載の映像表示装置。

【0371】〔51〕 主走査方向も副走査方向も正弦波状に振動するミラーであることを特徴とする上記1、

$$3 \times G > f \cdot \tan 2\phi / d > G/2$$

を満足することを特徴とする上記1、7～16の何れか1項記載の映像表示装置。ここで、

G：走査方向画素数

f：映像表示素子から走査手段に至る集光光学系の走査方向面内での焦点距離

$\phi$ ：映像表示に利用する走査手段の走査方向の片側振れ角（ $\pm\phi$ の走査手段振れ角を映像表示に利用する）

d：走査方向の映像表示素子の大きさの半分

ただし、逆光線追跡において次式で定義されるfを走査手段から映像表示素子に至る集光光学系の焦点距離とする。

$$【0375】 f = Y / \beta \tan 2\phi$$

ここで、Yは走査方向における中間像の大きさの半分、 $\beta$ は走査方向における映像表示素子から中間像に至る光学系の倍率である。

【0376】〔55〕 前記映像表示素子に表示された映像を虚像として形成し観察者眼球に導く上記1～54の何れか1項記載の映像表示装置と、この映像表示装置を観察者顔面前方に保持する支持部とを備えて構成されたことを特徴とする頭部装着式映像表示装置。

【0377】〔56〕 前記映像表示装置を観察者の左右の眼に対応してそれぞれ1つずつ配置していることを特徴とする上記55記載の頭部装着式映像表示装置。

【0378】〔57〕 前記映像表示素子に表示された映像を実像として表示する上記1～54の何れか1項記載の映像表示装置を備えて構成されたことを特徴とするプロジェクタ、レーザビームプリンタあるいはバーコードリーダー。

【0379】

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明の映像表示装置によると、反射作用を主体としたプリズム部材を用いて走査型映像表示装置の光学系を構成することにより、部品点数の削減と小型化を達成することが

7～16の何れか1項記載の映像表示装置。

【0372】〔52〕 前記走査手段がフォトリソグラフィの工程を利用して製作したマイクロマシンミラーであることを特徴とする上記1、7～16の何れか1項記載の映像表示装置。

【0373】〔53〕 逆光線追跡で、前記走査手段から前記映像表示素子に至る光学系が、少なくとも2面の光学作用を有する面で構成され、この光学系を走査手段側と映像表示素子側に2分割する場合、走査手段側でプラスの球面収差を発生させ、映像表示素子側でマイナスの球面収差を発生させるようになっていることを特徴とする上記1、7～16の何れか1項記載の映像表示装置。

【0374】〔54〕 走査方向の面内（2次元走査の場合は、主走査方向と副走査方向のそれぞれの面内）で、

$$\dots (7)$$

できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に基づく映像表示装置の光学系の構成を模式的に示す図である。

【図2】走査手段をミラーで構成する場合の図1と同様な図である。

【図3】逆光線追跡で中間像に入射する主光線を収束状態にする場合の図1と同様な図である。

【図4】映像表示素子の可能な1つの配置を示す図である。

【図5】映像表示素子の可能な別の配置を示す図である。

【図6】映像表示素子の可能な別の配置を示す図である。

【図7】直線走査性と等速走査性の両方の電氣的像歪み補正を説明するための図である。

【図8】等速走査性の電氣的像歪み補正を説明するための図である。

【図9】1次元スキャナを2個使用する場合の図1と同様な図である。

【図10】1次元fアークサインレンズのディストーションを示す図である。

【図11】スキャンミラーの振幅を制限して映像表示する場合を説明するための図である。

【図12】正弦波の振幅の制限とミラー傾角の線形性の関係を示す図である。

【図13】1次元f $\theta$ レンズのディストーションを示す図である。

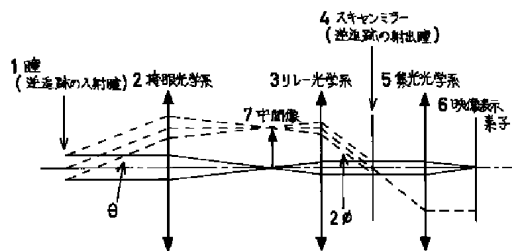
【図14】映像表示素子の配光特性による映像表示装置の光学系の不具合を説明するための図である。

【図15】スキャナから映像表示素子に至る光学系の配置によって映像表示素子の配光特性を補正できることを説明するための図である。

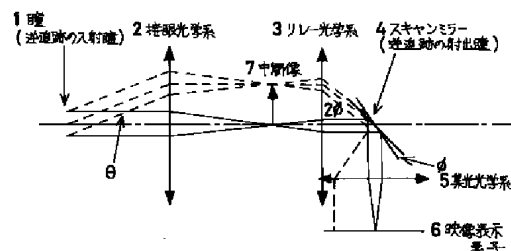
【図16】適切な画素間隔に関する説明図である。  
 【図17】映像表示素子に表示する映像信号を示す図である。  
 【図18】不適切な画素間隔による1つの不具合を説明するための図である。  
 【図19】不適切な画素間隔による別の不具合を説明するための図である。  
 【図20】本発明の実施例1の光学系の光路図である。  
 【図21】実施例1の変形の光学系の光路図である。  
 【図22】本発明の実施例2の光学系の光路図である。  
 【図23】本発明の実施例3の光学系の光路図である。  
 【図24】本発明の実施例4の光学系の光路図である。  
 【図25】本発明の実施例5の光学系の光路図である。  
 【図26】本発明の実施例5-1の光学系の光路図である。  
 【図27】本発明の実施例6の光学系の光路図である。  
 【図28】本発明の実施例7の光学系の光路図である。  
 【図29】本発明の実施例8の光学系の光路図である。  
 【図30】本発明の実施例9の光学系の光路図である。  
 【図31】本発明の実施例10の光学系の光路図である。  
 【図32】本発明の実施例11の光学系の光路図である。  
 【図33】従来の走査型HMDの構成を示す図である。  
 【図34】従来の別の走査型HMDの構成を示す図である。  
 【符号の説明】  
 1…瞳  
 2…接眼光学系（接眼レンズ）  
 3…リレー光学系（リレーレンズ）  
 4…走査手段  
 4'、4''…1次元スキャンミラー（1次元走査手段）  
 5…集光光学系（集光レンズ）  
 6…映像表示素子  
 7…中間像

8…ダイクロイックミラー  
 9…2つの走査手段と共役にする光学系  
 10…虚像  
 11…映像表示素子の像  
 21…射出瞳（逆光線追跡の入射瞳）  
 22…軸上主光線（観察者視軸）  
 23…キャンミラー  
 24…映像表示素子  
 25…シースループプリズム  
 30…偏心プリズム  
 30<sub>1</sub>…第1プリズム  
 30<sub>2</sub>…第2プリズム  
 31…第1面  
 32…第2面  
 33…第3面  
 34…第4面  
 35…第5面  
 36…第3透過面  
 37…第4透過面  
 38…第5面  
 39…第6面  
 40…第4面  
 41…第5面  
 42…第4透過面  
 43…回折面  
 44…DOE  
 45…回折面  
 46…第3面  
 47…第1面  
 48…第2面  
 49…第3面  
 50…第4面  
 51…第5面  
 L1…映像表示素子側光学系  
 L2…スキャナ側光学系

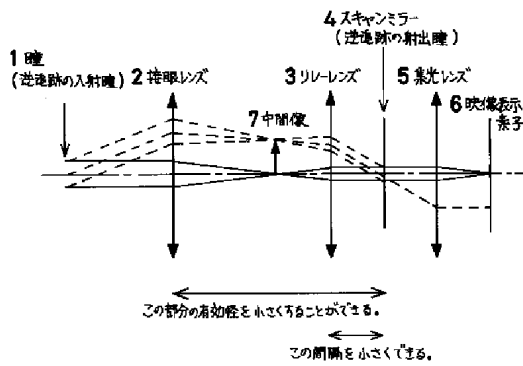
【図1】



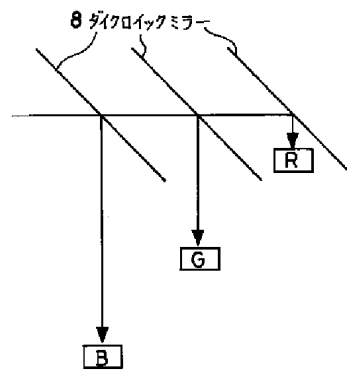
【図2】



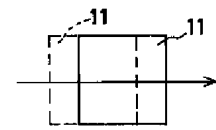
【図3】



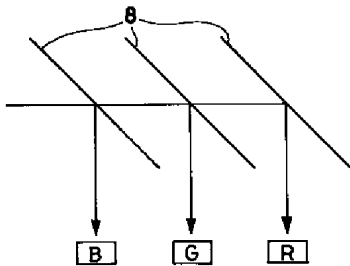
【図4】



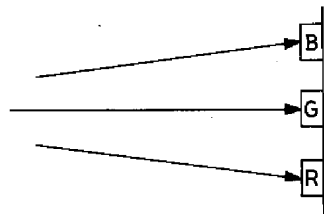
【図18】



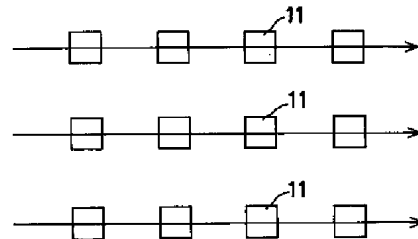
【図5】



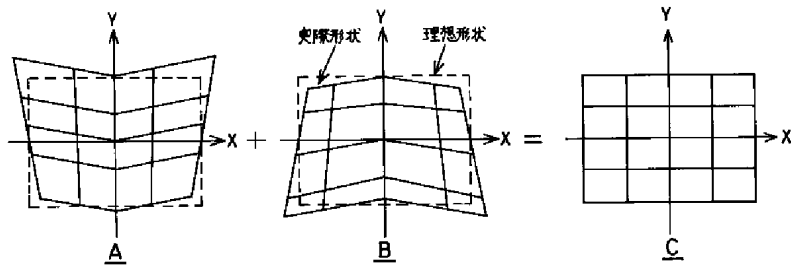
【図6】



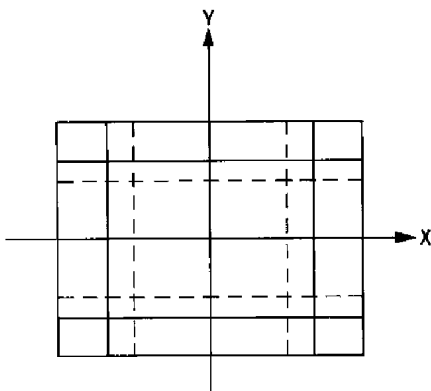
【図19】



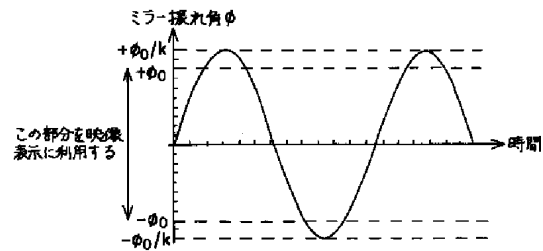
【図7】



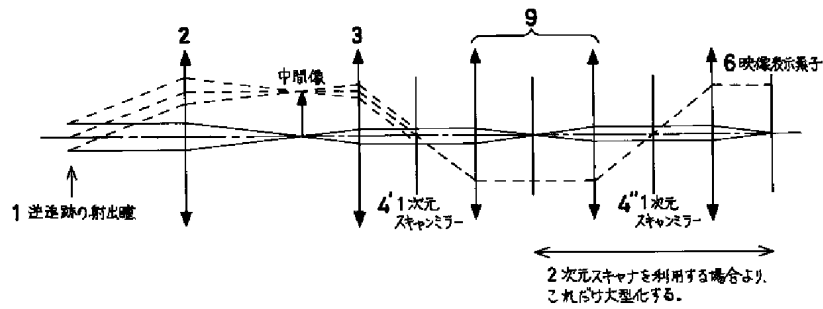
【図8】



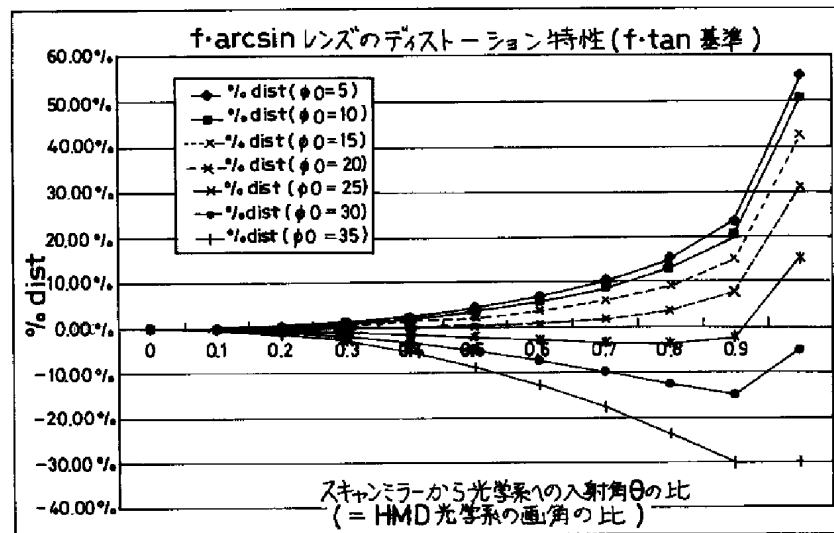
【図11】



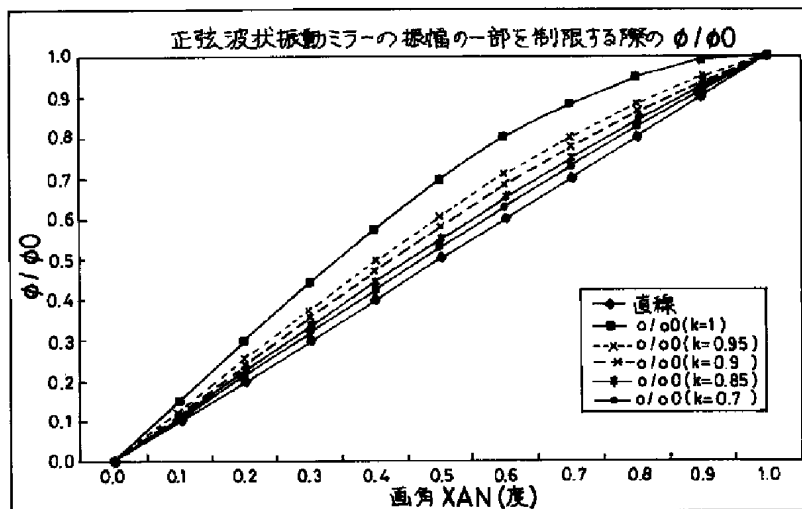
【図9】



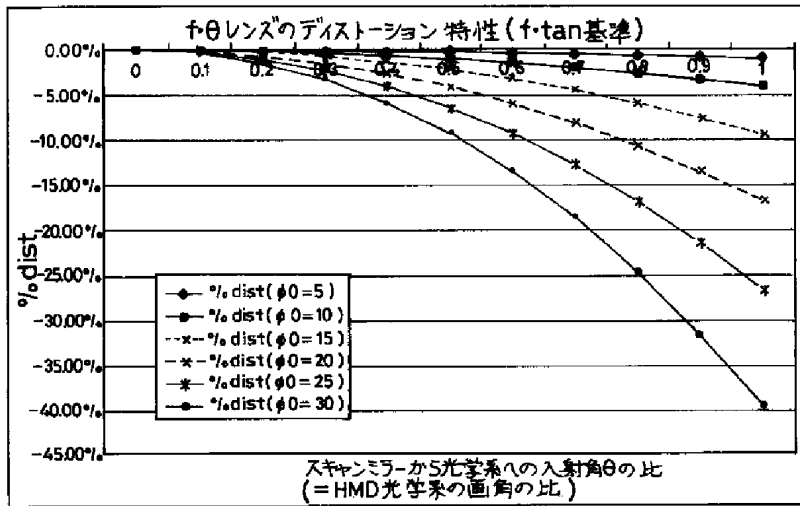
【図10】



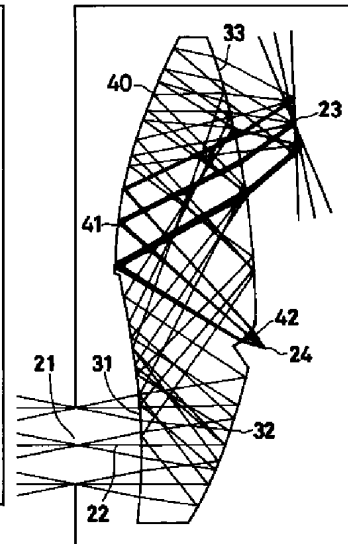
【図12】



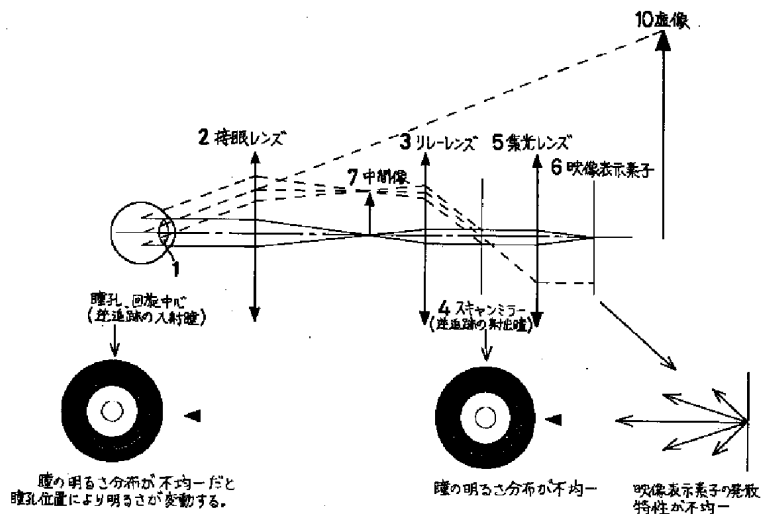
【図13】



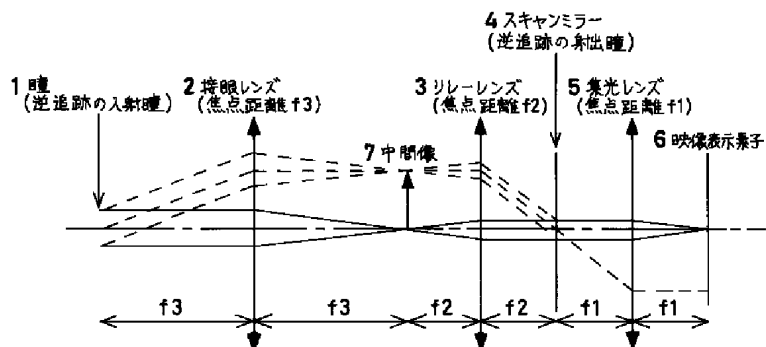
【図32】



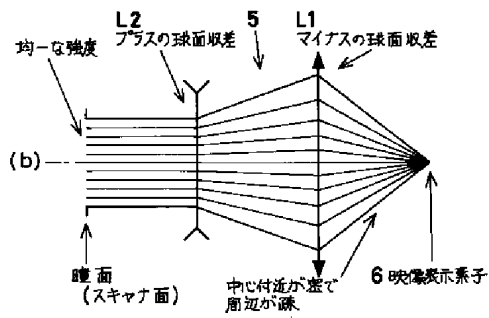
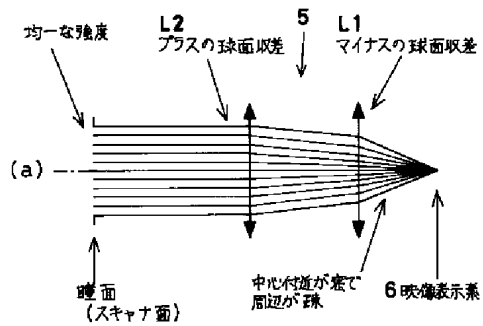
【図14】



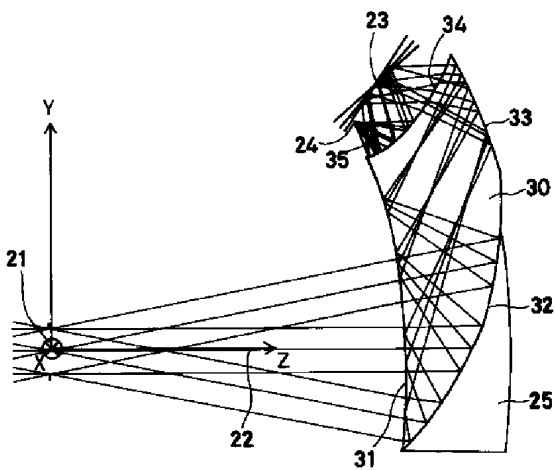
【図16】



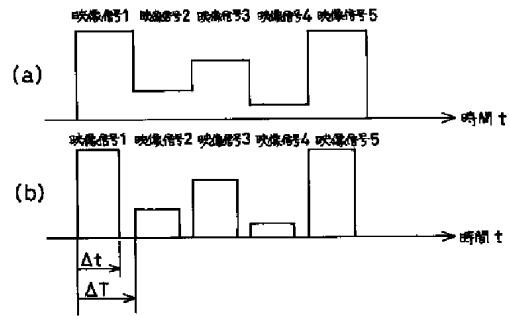
【図15】



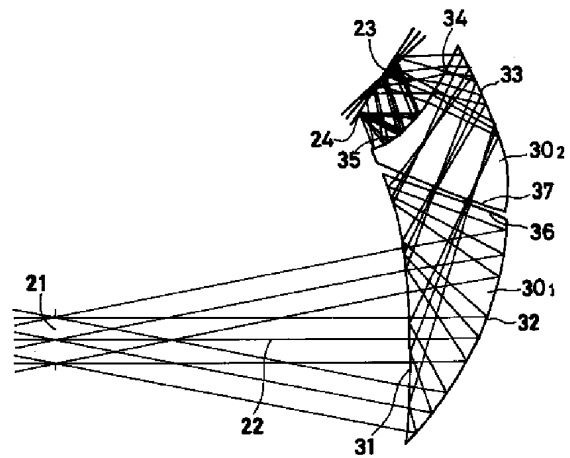
【図20】



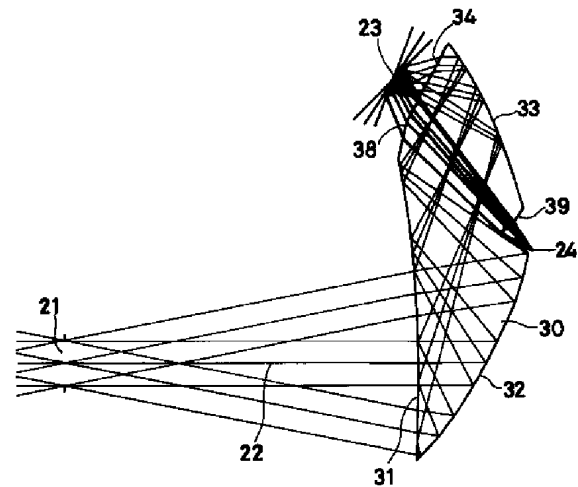
【図17】



【図21】

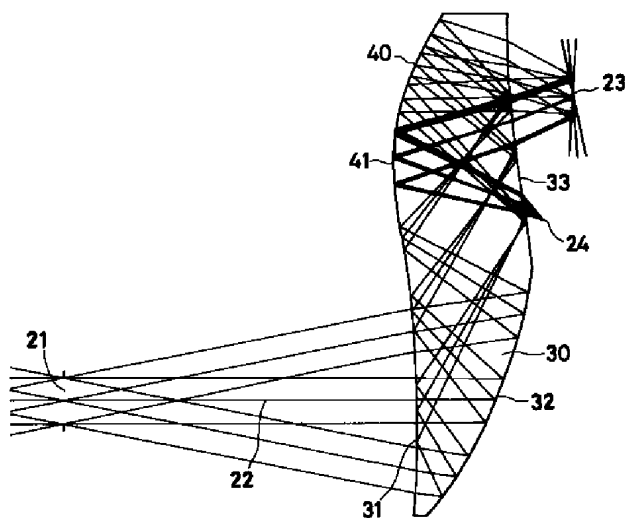


【図22】

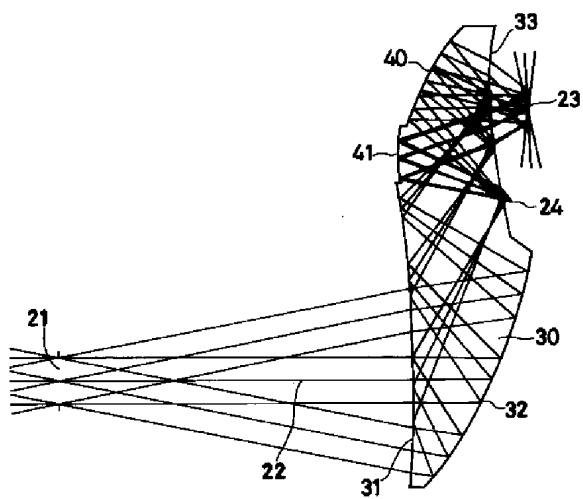




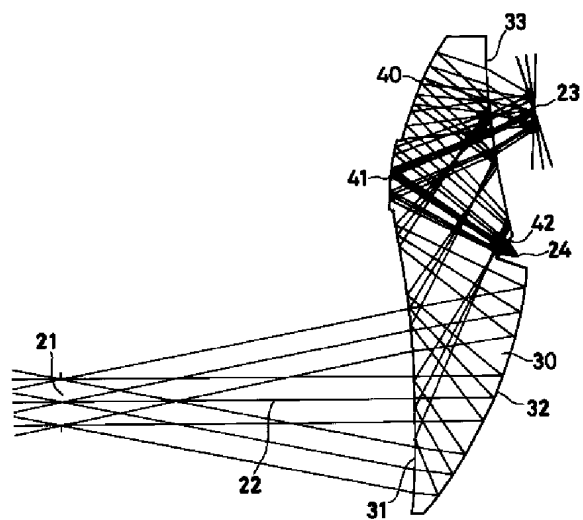
【図23】



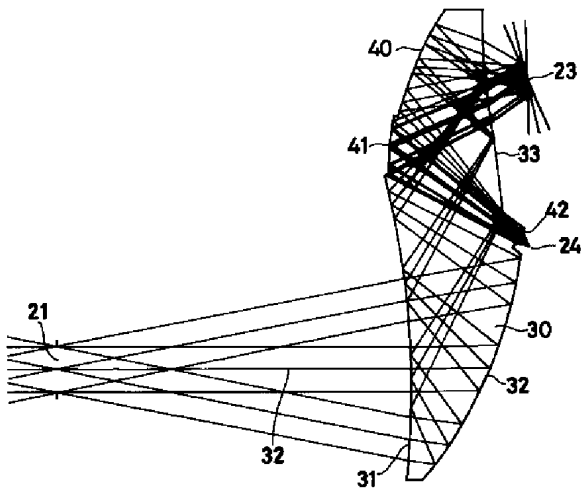
【図24】



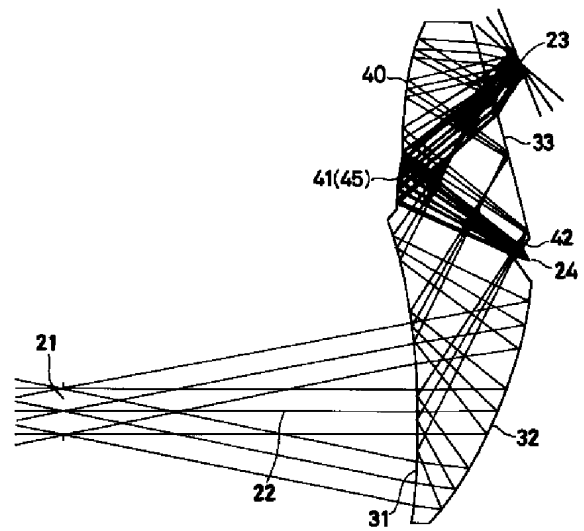
【図25】



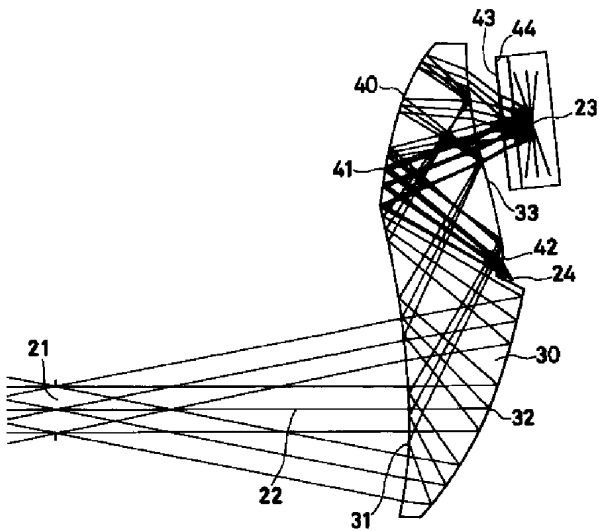
【図26】



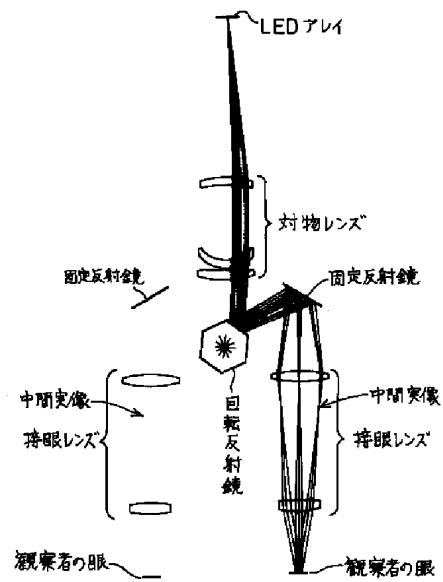
【図29】



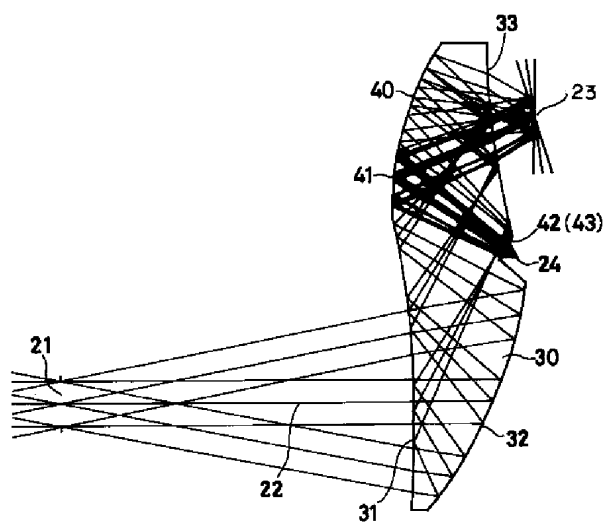
【図27】



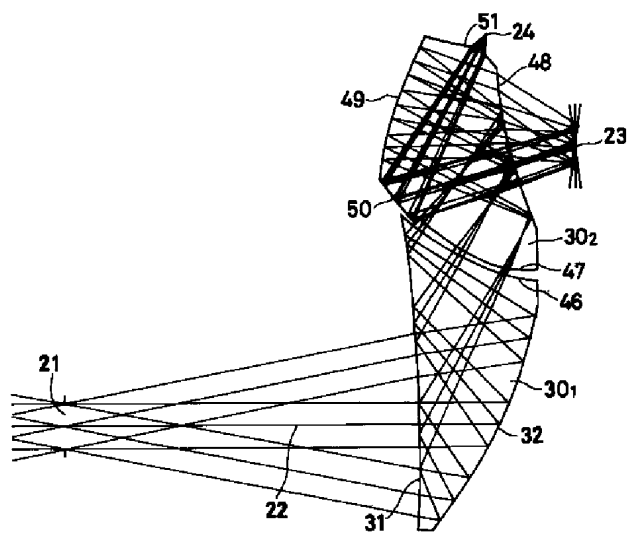
【図34】



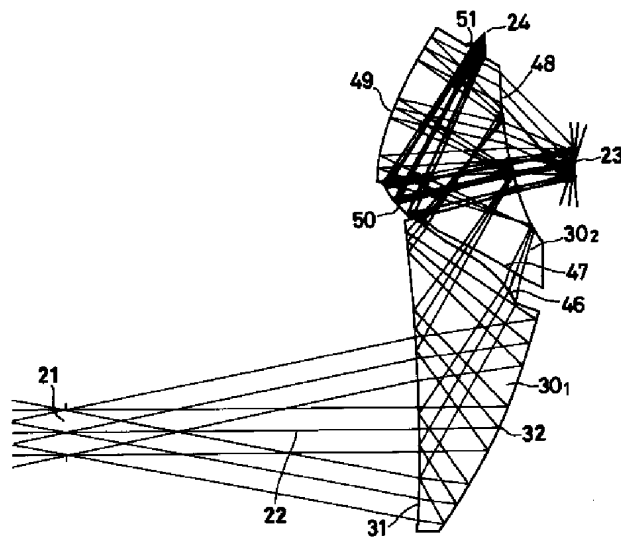
【図28】



【図30】



【図31】



【図33】

